



**SÍLVIA CARINA
GAMEIRO DE
OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS
EXPEDITOS DE CARACTERIZAÇÃO DE
ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO DE UM
FABRICANTE DO MERCADO PORTUGUÊS**



**SÍLVIA CARINA
GAMEIRO DE
OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS
EXPEDITOS DE CARACTERIZAÇÃO DE
ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO DE UM
FABRICANTE DO MERCADO PORTUGUÊS**

relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Materiais, realizada sob a orientação científica do Dr. João António Labrincha Batista, Professor associado com agregação do Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro e co-orientação do Dr. Luís Silva, Director Técnico da Saint-Gobain weber Portugal.

o júri

presidente

Prof. Doutora Ana Maria Segadães
Professora associada com agregação na Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João António Labrincha Batista (orientador)
Professor associado com agregação na Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Victor Miguel Ferreira
Professor auxiliar no Departamento de Civil na Universidade de Aveiro

Doutor António Santos Silva
Investigador auxiliar no Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Especialista Dr. Luís Miguel Silva (co-orientador)
Director Técnico da Saint-Gobain weber Portugal, SA

agradecimentos

Ao Dr. Luís Silva e Professor Doutor João Labrincha.

À equipa do laboratório weber.

Em particular, ao Nuno pela incansável ajuda e apoio.

À minha família e amigos.

palavras-chave

argamassas, propriedades, identificação, ensaios, patologias

resumo

O presente trabalho apresenta uma metodologia para identificação de algumas argamassas da marca Saint-Gobain Weber, que envolve a utilização de análises expeditas. O seu desenvolvimento justifica-se pela necessidade de garantir a autenticidade do produto em casos de reclamações e com a compreensão das propriedades das argamassas que apresentam patologias.

Foram realizados ensaios, evidenciados pela literatura, para a caracterização de propriedades e identificação de argamassas. Estas foram preparadas em laboratório e sujeitas a diferentes condições de cura para simular as condições de exposição exterior.

A metodologia sugerida fundamentou-se numa sequência das análises mais relevantes para identificação do produto e nas gamas de valores associadas, e ainda nas possíveis causas de desvios aquando da identificação do produto.

Testou-se a metodologia sugerida em argamassas recolhidas de edifícios e verificou-se que esta validou argamassas da marca Weber.

keywords

mortars, properties, identification, analyses, pathology,

abstract

The aim of this work is the development of a methodology to identify saint-gobain weber's mortars, involving the use of simple methods. It's validation was fundamental to guaranty the authenticity of the products specially when some complains about its use appear and to understand the properties of mortars having detected pathologies.

A sequence of analyses is then presented, with the expected average values for each mortar, and causes of divergent results. The suggested methodology successfully identified weber's mortars, recovered from buildings.

Índice geral

I. INTRODUÇÃO.....	1
I. 1 Objectivo.....	3
I. 2 Enquadramento	3
I. 2.1 História das argamassas.....	3
I. 2.2 História e missão da empresa	4
I. 2.3 Legislação	5
I. 2.4 Técnicas de análise de argamassas	9
I. 2.4.1 Dissolução da argamassa por ataque com ácido.....	12
I. 3 Argamassas.....	14
I. 3.1 Tipos de Argamassas.....	14
I. 3.1.1 Argamassas para colagem	15
I. 3.1.2 Argamassas de revestimento	18
I. 3.2 Matérias-primas.....	20
I. 3.2.1 Agregado	20
I. 3.2.2 Ligantes	20
I. 3.2.3 Aditivos e adjuvantes	24
I. 3.3 Patologias de argamassas	25
I. 3.3.1 Argamassas –cola	25
I. 3.3.2 Argamassas de revestimento	29
II. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	23
II. 1 Argamassas cola.....	37
II. 2 Argamassas de revestimento.....	39
III. ELABORAÇÃO DA METODOLOGIA.....	45
III. 1 Argamassas-cola	47
III. 1.1 Recolha e tratamento da amostra	47
III. 1.2 Ensaios efectuados.....	48
III. 1.2.1 Resistência à tracção perpendicular uniaxial	49
III. 1.2.2 Caracterização visual	49
III. 1.2.3 Perda de massa por calcinação.....	50
III. 1.2.4 Ataque com solução ácida	55
III. 1.2.5 Análise granulométrica	56
III. 1.3 Considerações finais sobre a análise às argamassas-cola	60
III. 2 Argamassas de revestimento.....	61
III. 2.1 Recolha e tratamento das amostras.....	61
III. 2.2 Ensaios efectuados.....	62
III. 2.2.1 Caracterização visual	62
III. 2.2.2 Resistência à tracção perpendicular uniaxial	63
III. 2.2.3 Massa volúmica aparente.....	63
III. 2.2.4 Absorção de água sobre pressão e porosidade aberta	65

III. 2.2.5	Absorção de água por capilaridade.....	69
III. 2.2.6	Resistência à compressão	75
III. 2.2.7	Perda de massa por calcinação	79
III. 2.2.8	Análise granulométrica.....	82
III. 2.3	Considerações finais.....	87
IV.	<i>Verificação da aplicabilidade da metodologia</i>	93
IV. 1	Argamassa-cola I.....	95
IV. 2	Argamassa-cola II.....	96
IV. 3	Argamassa de revestimento I.....	98
IV. 4	Argamassa de revestimento II	99
IV. 5	Argamassa de revestimento III.....	101
IV. 6	Argamassa de revestimento IV	103
V.	<i>Conclusões.....</i>	107
VI.	<i>Referências bibliográficas.....</i>	113
VII.	<i>Anexos.....</i>	119
	<i>Anexo I – Ensaios Adicionais</i>	121
	<i>Anexo II – Métodos de ensaio do laboratório weber.....</i>	123
	<i>Anexo III – Método de reconhecimento de argamassas</i>	131

Índice de tabelas

Tabela I – Normas aplicáveis a argamassas para obtenção da marcação CE.....	8
Tabela II – Exemplos de métodos de ataque de argamassas com solução ácida [22].	13
Tabela III – Propriedades previstas para argamassas de revestimento, segundo a EN 998-1.....	18
Tabela IV – Propriedades de argamassas de revestimento previstas pelas normas EN 1015, EN 1745 e EN 13301.....	15
Tabela V – Componentes das diferentes classes de cimento Portland.....	22
Tabela VI – Valores de perda de massa obtidos por calcinação a 500°C nas argamassas-cola.	50
Tabela VII – Valores de perda de massa das argamassas obtidas por calcinação, entre 500°C e 900°C.....	52
Tabela VIII – Análise granulométrica efectuada por crivagem, às argamassas-cola.....	57
Tabela IX – Síntese dos resultados obtidos nos ensaios sugeridos na metodologia, para as diferentes argamassas-cola.....	60
Tabela X – Vantagens e desvantagens dos métodos de recolha de disco.	61
Tabela XI – Massa volúmica aparente (g/dm^3) das quatro argamassas testadas.....	63
Tabela XII – Resultados do ensaio de absorção de água sob pressão em função do tempo de ensaio.	66
Tabela XIII – Porosidade aberta (%) das quatro argamassas testadas.	68
Tabela XIV – Valores do índice de capilaridade das quatro argamassas de reboco.	71
Tabela XV – Resultados obtidos da absorção de água por capilaridade (g/dm^2).....	72
Tabela XVI – Valores de absorção de água por capilaridade (g/dm^2) ao fim de 30 minutos das argamassas sujeitas a condições de cura.	74
Tabela XVII – Resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas, nas quatro condições de cura.	76
Tabela XVIII – Valores do módulo de ruptura à compressão, das quatro argamassas curadas em condições distintas.	77
Tabela XIX – Perda de massa por calcinação a 500°C das argamassas de revestimento.....	79
Tabela XX – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C das argamassas de revestimento.	80
Tabela XXI – Distribuição de tamanho de partículas das argamassas de revestimento, obtida por peneiração.	82
Tabela XXII – Síntese dos valores obtidos nos ensaios sugeridos na metodologia, para as argamassas de revestimento. (atenção aos códigos).....	90
Tabela XXIII – Resultados nas análises efectuadas à argamassa-cola I e comparação com as gamas apresentadas.	95

Tabela XXIV – Resultados nas análises efectuadas à argamassa-cola II e comparação com as gamas apresentadas.	97
Tabela XXV – Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento I e comparação com as gamas apresentadas.	98
Tabela XXVI - Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento II e comparação com as gamas apresentadas.	100
Tabela XXVII – Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento III e comparação com as gamas apresentadas.	102
Tabela XXVIII – Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento III e comparação com as gamas apresentadas.	103
Tabela XXIX – Massa volúmica aparente (determinada por pesagem hidrostática) após 1 semana de ensaio, para as quatro argamassas e diferentes condições de cura.	121
Tabela XXX – Massa volúmica aparente (determinada por pesagem hidrostática) após 2 semanas de ensaio, para as quatro argamassas e diferentes condições de cura.	122

Índice de figuras

Figura 1 – Actividades internacionais do grupo weber.....	5
Figura 2 – Efeito da temperatura numa argamassa-cola com fracções diferentes fracções de ligante polimérico (A-0% polímero; B- 1,5% polímero; C-5% polímero).	23
Figura 3 – Efeito do tipo de polímero e quantidade adicionada nos valores de aderência, numa argamassa-cola, após cura ao calor.	24
Figura 4 – Efeito da quantidade de polímero adicionada a uma argamassa, nos valores de aderência, após cura em água.	24
Figura 5 – Exemplos de desprendimento de ladrilhos.	26
Figura 6 – Exemplos de fissuração de ladrilhos.....	27
Figura 7 – Exemplos de manchas em ladrilhos.....	28
Figura 8 – Exemplos de fissuração das juntas de revestimentos.....	28
Figura 9 – Exemplos de fissuração em argamassas de revestimento.	30
Figura 10 – Exemplos de manchas em argamassas de revestimentos.....	31
Figura 11 – Exemplo de fungos em argamassas de revestimentos.	31
Figura 12 – Preparação do ensaio de tracção perpendicular uniaxial.	41
Figura 13 – Método de separação do disco da argamassa.....	41
Figura 14 – Valores de perda de massa das argamassas-cola obtidos por calcinação a 500°C.....	50
Figura 15 – Valores de perda de massa por calcinação a 500°C, das argamassas-cola. a) w.fix plus; b) w.col record; c) w.col flex; d) w.col classic.....	52
Figura 16 – Valores de perda de massa das argamassas-cola obtidos por calcinação, entre 500°C e 900°C.....	53
Figura 17 – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C, das argamassas-cola. a) w.fix plus; b) w.col record; c) w.col flex; d) w.col classic.	54
Figura 18 – Valores da fracção retida por peneiro, para as quatro argamassas-cola.....	56
Figura 19 – Representação fotográfica da fracção de material retida nos peneiros, das argamassas-cola.	59
Figura 20 – Fluxograma da metodologia proposta para argamassas-cola.....	60
Figura 21 – Valores de massa volúmica aparente (g/dm ³) para as quatro argamassas.....	63
Figura 22 – Valores da massa volúmica aparente (g/cm ³) em função da condição de cura, para as quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.	64
Figura 23 – Representação das médias de absorção de água sob pressão em função do tempo de ensaio.....	65
Figura 24 – Valores de absorção de água sob pressão, para 1 e 8 semanas de ensaio.	66

Figura 25 – Valores de Porosidade Aberta, após 1 semana de ensaio, para as quatro argamassas testadas.	68
Figura 26 – Valores da porosidade aberta (%) em função da condição de cura, para as quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.....	69
Figura 27 – Representação gráfica da evolução de massa por absorção de água por capilaridade de uma amostra de w.rev.classic (cura inicial).....	70
Figura 28 – Valores de índice de capilaridade, para as quatro argamassas de reboco.	71
Figura 29 – Curvas de absorção de água por capilaridade em função do tempo, para as amostras de RC.....	72
Figura 30 – Valores de absorção de água por capilaridade, ao fim de 30 minutos, para as argamassas de revestimento.	73
Figura 31 – Valores de absorção de água por capilaridade (g/dm ²) ao fim de 30 minutos em função da condição de cura das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.	74
Figura 32 – Imagem da amostra ensaiada em compressão.....	76
Figura 33 – Valores de tensão de ruptura (MPa) por compressão das argamassas, nas quatro condições de cura.	77
Figura 34 – Valores de tensão de ruptura em função da condição de cura, das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.	78
Figura 35 – Valores de perda de massa por calcinação a 500°C das argamassas de revestimento. .	79
Figura 36 – Valores de perda de massa por calcinação a 500°C em função da condição de cura, das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.	80
Figura 37 – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C das argamassas de revestimento.	81
Figura 38 – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C, em função da condição de cura, das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.	81
Figura 39 – Valores da fracção de material retida, em cada peneiro, para as quatro argamassas de revestimento.	83
Figura 40 – Valores da fracção de material retida, por peneiro e condição de cura, para as quatro argamassas de revestimento: a) PC; b) RD; c)RC; d) RT.	84
Figura 41 – Representação fotográfica da fracção de material retida nos peneiros, das argamassas de revestimento.	86
Figura 42 – Fluxograma da metodologia sugerida para argamassas de revestimento.....	89
Figura 43 – Argamassa-cola I.	95
Figura 44 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa-cola I. a)630µm; b)315µm; c) 160µm; d)80µm; e) Fundo.....	96
Figura 45 – Argamassa-cola II.	96

Figura 46 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa-cola II. a) 1,25mm; b)630µm; c)315µm; d) 160µm; e)80µm; f) Fundo.....	97
Figura 47 – Argamassa de revestimento I. a) antes de corte; b) após corte.	98
Figura 48 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento I. a) 1,25mm; b)630µm; c)315µm; d) 160µm; e)80µm; f) Fundo.	99
Figura 49 – Argamassa de revestimento II.....	100
Figura 50 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento II. a) 1,25mm; b)630µm; c)315µm; d) 160µm; e)80µm; f) Fundo.	101
Figura 51 – Argamassa de revestimento III.	101
Figura 52 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento III. a) 630µm; b)315µm; c) 160µm; d)80µm; e) Fundo.	102
Figura 53 - Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento IV. a) 630µm; b)315µm; c) 160µm; d)80µm; e) Fundo.	104
Figura 54 – Valores de massa volúmica aparente, determinados por pesagem hidrostática, das quatro argamassas consideradas.	121
Figura 55 – Comparação dos resultados obtidos de distribuição de partículas para duas argamassas.	122

Nomenclatura

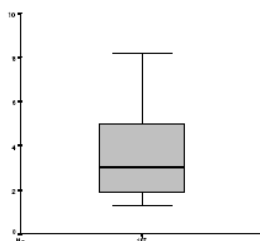
CV	Coefficiente de variação
ITE	Sistema de isolamento térmico pelo exterior
EMO	European Mortar Organization
Cc	Argamassa-cola w.col classic
Fp	Argamassa-cola w.fix plus
Cr	Argamassa-cola w.col record
Cf	Argamassa-cola w.col flex
PC	Argamassa de revestimento w.pral classic
RD	Argamassa de revestimento w.rev dur
RC	Argamassa de revestimento w.rev classic
RT	Argamassa de revestimento w.rev traditon
$M_{v,g}$	Massa volúmica aparente, determinada geometricamente
$M_{v,H}$	Massa volúmica aparente, determinada por pesagem hidrostática
28D	Cura inicial, padrão
H ₂ O	Cura em água
Calor	Cura ao calor
Mista	Cura Mista
C	Índice de absorção capilar
Abs.	Absorção

Glossário

Coefficiente de Variação: É uma propriedade estatística utilizada quando se deseja comparar a variação de conjuntos de observações que diferem na média ou são medidos em grandezas diferentes (unidades de medição diferentes). O coeficiente de variação é uma medida relativa de variabilidade. Define-se pela razão entre o desvio padrão de uma amostra e a respectiva média:

$$CV(\%) = \frac{\text{desvio padrão de uma amostra}}{\text{média da amostra}} \times 100$$

Boxplot (ou gráfico de bigodes): representação gráfica de algumas medidas de localização e de dispersão de uma amostra. Toda a construção do boxplot assenta na mediana e nos quartis.



A linha central da caixa (traço grosso) corresponde à mediana da amostra. Os extremos inferior e superior da caixa (rectângulo cinzento) correspondem aos primeiro e terceiro quartis, respectivamente. Neste exemplo o bigode superior termina no valor máximo da amostra e o bigode inferior termina no valor mínimo da amostra. Assim, o *boxplot* espelha de forma simples a estrutura da população subjacente aos dados e nele é possível identificar as seguintes características evidenciadas pelos dados: localização (indicada pela mediana); dispersão (resultante do comprimento da caixa e do comprimento total entre os extremos dos bigodes).

Outliers: Por vezes as amostras possuem valores que se distanciam bastante da maioria das observações. Uma caixa de bigodes procura identificar tais valores impondo um limite máximo ao comprimento de cada bigode. Todas as observações que excedam os limites dos bigodes serão então representadas no *boxplot* com o símbolo e identificadas como *outliers*. Nestes casos os bigodes terminam na observação mais extrema que não seja outlier. Na ausência de outliers os bigodes terminam no mínimo e máximo da amostra.

I. INTRODUÇÃO

I. 1 Objectivo

O objectivo deste estudo consiste na elaboração de uma metodologia de trabalho, baseada em métodos de análise simples, capaz de definir e autenticar alguns produtos da marca “saint-gobain weber” após a sua aplicação.

A metodologia deverá indicar todos os passos como a recolha e tratamento das amostras, métodos de análise específicos e, ainda, apresentar uma gama de resultados expectáveis para cada produto e ensaio. Deste modo, será possível a qualquer técnico efectuar este processo e definir, por comparação de resultados, qual o produto que está a ser analisado.

I. 2 Enquadramento

I. 2.1 História das argamassas

A alteração e adequação de materiais para construção remontam há cerca de 10 000 anos. Nessa altura os povos transformavam pedra calcária em cal hidratada por ustulação (em fornos próprios) e posterior contacto com água. Mais tarde, os romanos evidenciaram-se pela produção de argamassas mais complexas, formando misturas com pozolanas, pó de tijolo, areia, cal hidratada e componentes orgânicos.

Em meados do século XVIII, a cal hidráulica adquire uma evidente importância como material de construção, com a investigação de John Smeaton (1757). Este revelou que o cimento hidráulico obtido com calcário e alguma proporção de argilas era muito superior ao calcário puro. Em 1818, o engenheiro francês Louis José Vicat, na sua obra “Investigações experimentais sobre a cal de construção, o concreto e as argamassas”, divulgou um método para obter cal hidráulica a partir de qualquer pedra calcária. O procedimento consistia em tirar a força da cal viva, misturando-a com argila pura e água, conseguindo uma massa pegajosa que era moldada em esferas e colocadas posteriormente num forno.

Só em 1824 se registou a patente do cimento Portland (por Joseph Aspdin), material que acabaria por ser, até à data, o ligante mais utilizado na construção.

A partir de meados do século XIX começaram a surgir as primeiras empresas de argamassas. Em 1893 foi registada a primeira patente de manufactura de argamassas secas

na Europa. No entanto, ainda em 1950, o cimento era enviado para as obras de forma separada dos agregados, especialmente areias de quartzo, onde seria armazenado até ao momento da utilização, sendo então misturados com água, nas proporções pretendidas e em seguida aplicadas, antes de acabar o seu tempo aberto. Desta forma, ao montar o estaleiro de obra era necessário garantir a existência de espaço suficiente, não apenas para o armazenamento das matérias-primas, mas também para a sua mistura. Seria também necessário afectar mão-de-obra exclusivamente para a tarefa de dosear e preparar as argamassas, mas apesar deste facto, poucas ou nenhuma garantias existiram acerca da constância da qualidade das argamassas produzidas.

Entre 1950 e 1960, na Europa Central e nos Estados Unidos, a nova indústria de construção, com maior exigência em qualidade e rapidez de execução, obrigou à substituição da mistura dos componentes das argamassas na obra por argamassas secas prontas a aplicar. Face a este cenário, surgiu uma nova indústria na construção civil, a das Argamassas Industriais, produzidas em fábrica, que possibilitou uma progressiva melhoria na qualidade das argamassas utilizadas e também a criação de uma vasta gama de produtos, com maior grau de especificação. Estas argamassas industriais, por oposição às denominadas de tradicionais, preparadas em estaleiro, apresentam determinadas vantagens que originaram o contínuo crescimento desta actividade. A utilização de matérias-primas mais adequadas, a obtenção de misturas homogéneas, a garantia de qualidade, a possibilidade de introdução regulada de aditivos e o facto de se obterem produtos mais ajustados ao tipo de aplicação são factores que revelam a importância desta actividade. [1-3]

I. 2.2 História e missão da empresa

A weber iniciou a sua actividade em França, em 1920, tendo como principais áreas de negócio a produção e comercialização de produtos para revestimentos de fachadas e gesso. Gradualmente o seu negócio foi-se desenvolvendo em prol dos seus clientes, nas áreas de revestimento de fachadas, argamassas técnicas e argamassas para colagem de cerâmica (Figura 1). Em 1996 integrou o grupo Saint-Gobain, um dos cem maiores grupos industriais mundiais, com actividades em materiais de construção, materiais de alto desempenho, vidro plano, acondicionamento e distribuição.

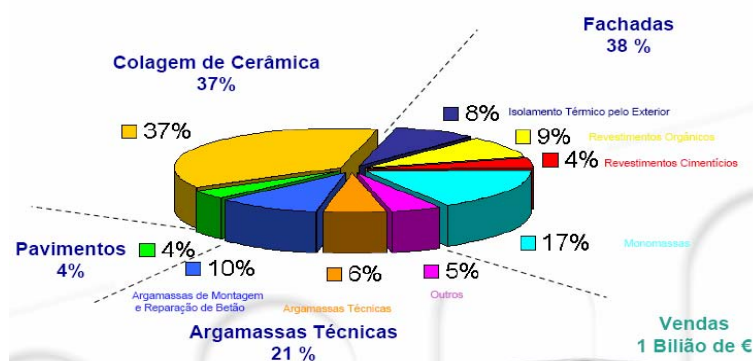


Figura 1 – Atividades internacionais do grupo weber.

O grupo weber está presente actualmente em 27 países. Em Portugal iniciou a sua actividade em 1990, com a aquisição da Fixicol.

A missão da Saint-Gobain weber Portugal é proporcionar aos profissionais da construção soluções que tornem o seu trabalho mais fácil, económico e seguro, apostando na garantia da qualidade e inovação.

Tem como princípios estratégicos:

- * “As acções externas da empresa dirigem-se fundamentalmente para os **USUÁRIOS** que são o alvo em torno do qual se organiza toda a actividade.
- * Dado que os nossos produtos são aplicados em obra, a informação e melhoria da **APLICAÇÃO**, são serviços importantes que fornecemos aos utilizadores.
- * A **QUALIDADE** dos produtos, dos serviços, da informação e da assistência são considerados factores essenciais e indissociáveis entre si.
- * Em todas as actividades estratégicas da empresa e associadas, está presente a **COERÊNCIA**, pelo que é considerada o pilar da política comercial e da política de recursos humanos.
- * A **INOVAÇÃO** é considerada a chave do sucesso para desenvolver o mercado e assegurar a competitividade da empresa.
- * A **ÉTICA** é um dos valores fundamentais para a empresa e neste sentido visa-se o respeito pelos Colaboradores, Clientes, Fornecedores e mercado, bem como pela Segurança de todos e pelo Meio Ambiente.” [4]

I. 2.3 Legislação

A par das garantias morais com que se compromete, a empresa está sujeita a obrigações legais como produtora.

Segundo o Artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 84/2008, de 21 de Maio, que transpõe para o ordenamento jurídico interno a Directiva n.º 1999/44/CE, do Parlamento Europeu e do

Conselho, de 25 de Maio, relativa a certos aspectos da venda de bens de consumo e das garantias a elas relativas, é responsabilidade directa do produtor:

“1 – Sem prejuízo dos direitos que lhe assistem perante o vendedor, o consumidor que tenha adquirido coisa defeituosa pode optar por exigir do produtor a sua reparação ou substituição, salvo se tal se manifestar impossível ou desproporcionado tendo em conta que o bem, teria se não existisse falta de conformidade, a importância desta e a possibilidade de a solução alternativa ser concretizada sem grave inconveniente para o consumidor

2 – O produtor pode opor-se ao exercício dos direitos pelo consumidor verificando-se qualquer dos seguintes factos:

Resultar o defeito exclusivamente de declarações do vendedor sobre a coisa e sua utilização, ou de má utilização;

Não ter colocado a coisa em circulação;

Poder considerar-se, tendo em conta as circunstâncias, que o defeito não existia no momento em que colocou a coisa em circulação;

Não ter fabricado a coisa nem para venda nem para qualquer outra forma de distribuição com fins lucrativos, ou não a ter fabricado ou distribuído no quadro da sua actividade profissional;

Terem decorrido mais de 10 anos sobre a colocação da coisa em circulação.[5]

No Decreto-Lei n.º4/2007, de 8 de Janeiro, que corresponde à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 113/93, de 10 de Abril, que transpõe para ordem jurídica interna a Directiva n.º 89/106/CEE, do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988 que aproxima as legislações dos Estados membros no que se refere ao produtos de construção, podem-se consultar as exigências essenciais das obras:

“1 – As exigências essenciais das obras devem, em condições normais de manutenção, ser satisfeitas durante um período de vida útil economicamente razoável e referem-se geralmente a factores previsíveis.

2 – As exigências essenciais das obras são as seguintes:

Resistência Mecânica e Estabilidade – as obras devem ser concebidas e construídas de modo a que as acções a que possam estar sujeitas durante a construção e a utilização não causem: desabamento total ou parcial da obra; deformações de grau inadmissível; danos em outras partes da obra ou das instalações ou do equipamento instalado em consequência de deformações importantes dos elementos resistentes e danos desproporcionados relativamente ao facto que esteve na sua origem;

Segurança Contra Incêndio. – As obras devem ser concebidas e realizadas de modo que, no caso de se declarar um incêndio: a estabilidade dos elementos resistentes possa ser garantida durante um período de tempo determinado; a deflagração e propagação do fogo e do fumo dentro da obra sejam limitadas; a propagação do fogo às construções vizinhas seja limitada; os ocupantes possam abandonar ilesos a obra ou ser salvos por outros meios; a segurança das equipas de socorro tenha sido tida em consideração;

Higiene, Saúde e Ambiente – a obra deve ser concebida e realizada de modo a não causar danos à higiene e à saúde dos ocupantes ou vizinhos, em consequência,

nomeadamente: da libertação de gases tóxicos; da presença no ar de partículas ou gases perigosos; da emissão de radiações perigosas; da poluição ou contaminação da água ou do solo; da evacuação defeituosa das águas residuais, do fumo e dos desperdícios, sólidos ou líquidos; da presença de humidade em determinadas partes da obra ou nas superfícies interiores da obra;

Segurança na Utilização – a obra deve ser concebida e realizada de modo a não apresentar riscos inaceitáveis de acidentes durante a sua utilização e funcionamento, como, por exemplo, riscos de escorregamento, queda, choque, queimadura, electrocussão e ferimentos em consequência de explosão;

Conforto Acústico – a obra deve ser concebida e realizada de modo que o ruído captado pelos ocupantes ou pelas pessoas próximas se mantenha a um nível que não prejudique a sua saúde e lhes permita dormir, descansar e trabalhar em condições satisfatórias;

Economia de Isolamento Térmico e Isolamento Térmico – a obra e as instalações de aquecimento, arrefecimento e ventilação devem ser concebidas de modo que a quantidade de energia necessária para a utilização da obra seja baixa, tendo em conta as condições climáticas do local e o conforto térmico dos ocupantes.[6]

Ora, no que respeita a danos em argamassas torna-se difícil de identificar e provar a sua origem, devido aos inúmeros factores que condicionam as suas propriedades, desde a sua produção, aplicação e condições a que ficam sujeitas. Uma maneira de assegurar ao cliente a qualidade dos produtos é através da marcação CE que, como processo de certificação e controlo de qualidade, tem como principal objectivo a transmissão de confiança ao utilizador da qualidade do produto adquirido, através do cumprimento de determinados requisitos e da conformidade do produto com especificações técnicas aplicáveis.

Aos produtos de construção, no quadro do Sistema Português da Qualidade, aplica-se um regime de concessão da Marca para produtos certificados aprovado pelo Decreto-Lei n.º 184/93, de 19 de Março, o qual tem como principal objectivo da Marca “comprovar que os produtos que a têm aposta foram objecto de um processo de certificação através do qual se verifica a conformidade dos produtos com as normas aplicáveis, assim como a capacidade do fabricante para assegurar a manutenção das características evidenciadas”. A Marcação CE trata-se, então, de um sistema de comprovação da conformidade, dos produtos de construção assim marcados, com um conjunto de exigências essenciais indicados na directiva, conferindo um “livre-trânsito” para a sua circulação no Mercado Europeu.

Para obtenção da Marcação CE, o produto deverá ter determinadas características regulamentadas pelas normas existentes para o seu tipo de aplicação. [7]

Tabela I – Normas aplicáveis a argamassas para obtenção da marcação CE.

Âmbito	Norma	
Argamassa revestimento paredes	EN 998-1	Specification for mortar for masonry. Part1: Rendering and plastering mortar.
Argamassa paredes (assentamento, alvenaria, juntas)	EN 998-2	Specification for mortar for masonry. Part2: Masonary mortar.
Revestimentos interiores Parede	CEN/TR 15124:2005	Design, preparation and application of internal gypsum plastering systems.
Revestimentos Interiores Parede	CEN/TR 15125:2005	Design, preparation and application of internal cement and/or lime plastering systems.
Revestimentos Interiores Parede	EN 13914-2:2005	Design, preparation and application of external rendering and external plastering – Part2: Design considerations and essencial principles for internal plastering.
Revestimentos Exteriores Parede	EN 13914-1:2005	Design, preparation and application of external rendering and external plastering – External rendering.
Pavimentos	EN 13318:2000	Screed material and floor screeds – Definitions
Pavimentos	EN 13454-1:2004	Binders, composite binders and factory made mixtures for floor screeds based on calcium sulfate – Part1: Definitions and requirements.
Pavimentos	EN 13813:2002	Screed material and floor screeds – screed material – Properties and requirements
Colagem cerâmicos	NP EN 12004:2001	Colas para ladrilhos. Definições e especificações.
Colagem cerâmicos	NP EN 13888:2002	Argamassas para enchimento de juntas de pavimento e revestimento.

Para além de danos resultantes da não conformidade do produto, podem ocorrer danos alheios à empresa produtora. Esses danos estão associados, geralmente, ao não cumprimento das recomendações dos produtos efectuadas pelo produtor, como seja aplicação do produto após o tempo aberto recomendado, adição de maior fracção de água ao pó, entre outras. Outros danos podem provir da adulteração do produto em obra, com o objectivo de reduzir custos, ou alterar algumas propriedades, como tempo aberto ou aumento da resistência mecânica [8,9]. É prática reconhecida a adição de areia, cimento, ou até produtos de menor custo a outros de custo superior, alterando assim as características do produto, garantidas pela empresa. Com efeito, uma análise detalhada ao processo do serviço após venda, secção de reclamações, permite identificar um conjunto de casos significativos (cerca de 20%) onde se reconhece que a interpretação da identidade de produto se revela um factor crítico de análise e condicionante da decisão final, em termos de tratamento de custos, avaliação da patologia e tratamento da mesma.

É sobre este tipo de acções que a empresa procura salvaguardar-se, definindo ferramentas que atestem os seus produtos, evitando assim o pagamento de danos em produtos que não são seus ou que foram adulterados.

Adicionalmente, e como papel fundamental de líder de mercado, permitir um conjunto de acções pedagógicas que, no limite, ajudem ao desenvolvimento sustentável das argamassas de construção, a partir do estabelecimento de uma relação de confiança com os usuários/clientes.

I. 2.4 Técnicas de análise de argamassas

Actualmente, são realizados ensaios em obra e em laboratório, que procuram caracterizar os materiais aplicados. Essa caracterização é fomentada pela necessidade de:

- a) conservação, em edifícios antigos constituídos por argamassas tradicionais, em que se tenta conhecer e aproximar as propriedades da argamassa de reabilitação à aplicada anteriormente;
- b) recuperação após o aparecimento da patologia e através do conhecimento de algumas propriedades, e evitar o aparecimento futuro da mesma.

A identificação de produtos que se propõe com este trabalho pode ser benéfica na medida em que permite criar uma base de dados que relaciona o tipo de produto aplicado (composição e propriedades iniciais) com as patologias identificadas. Deste modo, possibilita uma melhoria na visualização da relação *causa-efeito* e, consequentemente, o desenvolvimento de produtos mais indicados a cada situação ou de soluções técnicas adequadas.

São exemplos de ensaios realizados actualmente:

+ *In-situ*:

- * Tubo de Carsten, que caracteriza a permeabilidade à água sob baixa pressão;
- * Ultra-sons, que caracteriza a resistência e módulo de elasticidade;
- * Termografia de Infravermelhos, que avalia destacamentos e zonas de penetração de água;
- * Humidímetro portátil, que avalia o teor de água;
- * Indicador de fenolftaleína, que determina o estado de carbonatação;
- * Marcadores de cor, para identificação de sais solúveis;
- * Choque de esfera/Quadriculagem, que avaliam a resistência superficial;
- * Penetração controlada/Microperfuração, que avaliam a resistência interna;
- * Riscagem e abrasão, que avaliam a coesão;
- * Aderência ao suporte;

+ Em laboratório:

- * Método da pesagem hidrostática, para determinação da densidade hidrostática e fracção de água;
- * Porosimetria de mercúrio, que caracteriza a distribuição porosimétrica,
- * Absorção de água por capilaridade;
- * Resistência à compressão;
- * Análise química, por: via húmida (dissolução da amostra e determinação de elementos, resíduo insolúvel, gravimetria, volumetria); por via instrumental (Fluorescência de Raios X, Fotometria de chama, Espectrofotometria de absorção atómica, Espectrofotometria de emissão de plasma, Cromatografia iónica);
- * Análise microestrutural, com Lupa binocular, Microscopia óptica, Microscopia electrónica de varrimento e Microanálise de Raios X por dispersão de energia;
- * Análise mineralógica, por difractometria de Raios X;
- * Análise termogravimétrica e diferencial;
- * Análise de fracção orgânica, por Espectroscopia de Infravermelho, RMN. [10-18]

A utilização de alguns destes ensaios é limitada pela disponibilidade dos equipamentos ou custos associados à sua utilização, sendo apenas utilizados regularmente em casos de estudo de recuperação de património. Deste modo, recorre-se mais frequentemente a métodos fáceis de executar e que relacionem propriedades directamente com possíveis patologias, como é o caso da aderência *vs* destacamento e da resistência à penetração de água *vs* falta de impermeabilização. No entanto, apresentam limitações como: não definem/identificam o tipo de produto aplicado; e não abrangem/identificam um conjunto de possíveis causas das patologias.

Recentemente, têm surgido estudos que procuram relacionar algumas propriedades das argamassas de forma comparativa. Além de diminuir o número de ensaios a realizar e por vezes evitar a utilização de métodos destrutivos, o conhecimento da relação existente entre propriedades permite auxiliar a compreender o comportamento da argamassa aquando do surgimento de patologias. São apresentados seguidamente algumas dessas relações e, também, as que resultaram de um estudo paralelo a este trabalho, realizado no laboratório

weber. Não se irá aprofundar o tema, já que não é âmbito do presente estágio, apenas se pretende assinalar a sua importância.

- + A massa volúmica aparente, determinada de forma geométrica, relaciona-se com a porosidade aparente ou aberta, traduzindo a relação entre a compacidade da argamassa e o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassadura perdida por evaporação; [19]
- + A massa volúmica e a porosidade aparentes encontram-se associadas à resistência interna da argamassa (traduzida em termos de resistência à compressão) e à resistência à deformação (traduzida pelo módulo de elasticidade dinâmico e factor de ductilidade); salienta-se que o método da pesagem hidrostática, simples e de grande utilização, não permite a caracterização da porosimetria do material, tal como o tamanho e distribuição dos poros, cujo conhecimento é relevante para perceber em detalhe as características mecânicas [20]; em geral, os microporos com diâmetros abaixo de 50 nm (equivalente a 0.05 μm) contribuem em simultâneo para a resistência à compressão e à tracção por flexão; [21]
- + A velocidade aparente de propagação das ondas ultra-sónicas encontra-se relacionada com a massa volúmica e porosidade aparentes (a atenuação da velocidade é causada pela dispersão das ondas elásticas devido aos vazios existentes na argamassa, sendo também um parâmetro relevante para a resistência interna e para a resistência à deformação da argamassa; [22]
- + O comportamento dos produtos à permeabilidade à água sob pressão nos primeiros 60 minutos é semelhante à absorção capilar inicial; por outras palavras, a influência dos poros capilares parece ser determinante para a resistência inicial à água líquida, para além da distribuição de outros poros; após 60 minutos, o fluxo de água aumenta não sendo comparável com a absorção capilar; de facto, a absorção inicial de água nos poros capilares à superfície é feita por sucção até à saturação; [23]
- + Foi possível verificar relações lineares entre o coeficiente de resistência à difusão do vapor e a porosidade e massa volúmica aparentes, nos ensaios realizados no laboratório weber:

-
- * os produtos pré-doseados com maior porosidade aberta e menor massa volúmica aparente, apresentam coeficientes de resistência à difusão do vapor de água menores, ou seja, maior difusão do vapor de água; os doseados em obra cimentícios apresentam valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) superiores a 15;
 - * os valores de μ abaixo de 10 poderão estar associados à influência da cal ou do introdutor de ar e cargas leves que originam poros de dimensões capazes de garantir uma maior difusão do vapor de água;
 - + Dos parâmetros do processo de secagem que foram analisados no ensaio em laboratório weber, verificou-se que existe relação entre a velocidade inicial de secagem e o índice de secagem com o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água; estes parâmetros contribuem para a caracterização *in-situ* da resistência higrotérmica da argamassa; [16]

Seguidamente apresenta-se uma técnica de análise para argamassas que não consta dos métodos de ensaio correntes no laboratório, mas, frequentemente citada na literatura e, por isso, considerada para utilização neste trabalho.

I. 2.4.1 Dissolução da argamassa por ataque com ácido

O objectivo de testar a reacção de uma argamassa endurecida com ácido é provocar a dissociação de alguns dos componentes e realizar a posterior análise individual. A análise química da fracção solúvel e do resíduo insolúvel, resultante do ataque, permite (com algumas limitações) prever a composição química do ligante e do agregado, respectivamente.

A caracterização de argamassas endurecidas, por deste método, tem sido referenciada por diversos autores e está presente em algumas normas. A NT BUILD 437 foi adoptada nos países nórdicos; o método “*Florentine*” é frequentemente utilizado para a caracterização de argamassas antigas; outros métodos foram apresentados no RILEM TC-COM; (Tabela II).

Tabela II – Exemplos de métodos de ataque de argamassas com solução ácida [24].

Método	Ácido	Concentração	Temperatura	Tempo para reacção	Reacção com dolomite	Solubilidade de Si do agregado
NT BUILD 437	HClO ₄	1+9	T ambiente		Pouco solúvel	Baixa
<i>Florentin</i>	HCl	5+1	-2<T<5	5 min		Baixa
RILEM TC COM	HCl	1) 0.15 N 2) 1+20	20<T<23			
Scancem Research	HCl	1N				
Alvarez	HCl	1:5	Quente/frio	30 min		
BS 4551:1970	HCl	1+9	50°C	5h		
BS 4551:1980	HCl	1+9	22°C	20 min		
U84000150	HCl	1:1M	4°C		Reacção da dolomite	Baixa

De facto, encontram-se várias metodologias na literatura, que diferem nas condições de ensaio (concentração e tipo de ácido – HCl ou HClO₄, temperatura, tempo e velocidade de agitação da reacção) e no tipo de argamassa a analisar. A dificuldade é mesmo escolher um método consensual sobre as técnicas de análise, que seja aplicável a todas as argamassas, independentemente da composição. A adopção de um destes ensaios requer, portanto, o conhecimento das suas limitações. Estas estão relacionadas com:

- + Obtenção de um elevado grau de dissolução dos constituintes solúveis. Factores como: a temperatura da solução ácida, que actua sobre a solubilidade dos constituintes; a presença de *fillers*, como cargas dolomíticas e calcíticas, que podem gerar dissoluções incompletas quando o ácido não é suficientemente forte; a reacção parcial de alguns agregados, constituídos por minerais parcialmente solúveis como feldspatos ou argilas;
- + Precipitação de elementos, que poderão ser considerados como resíduos insolúveis, em situações de utilização de elevadas concentrações de ácido (1:1) ou tempo excessivo para a reacção podem ocorrer: floculações de géis siliciosos ou formação de complexos de alumina e ferro dos ligantes hidráulicos [24,25];
- + Caracterização de argamassas que utilizem como ligante materiais com características pozolânicas. Nestes casos, o ligante não será completamente solubilizado pelo ácido, sendo obtido um resíduo insolúvel constituído pelo agregado da argamassa e uma fracção de ligante. Este facto impossibilita a determinação da fracção de ligante e agregado da argamassa.

I. 3 Argamassas

I. 3.1 Tipos de Argamassas

Segundo a European Mortar Organization (EMO) uma argamassa define-se por uma mistura de um ou mais ligantes, orgânicos e/ou inorgânicos, agregados, fillers, aditivos e/ou adjuvantes.

As normas EN 998-1:2003 e EN 998-2:2003 classificam as argamassas de acordo com três conceitos diferentes:

+ De acordo com o local de produção:

Argamassas Industriais – são aquelas que são doseadas e misturadas em fábrica. Podem-se apresentar “em pó”, requerendo apenas a adição de água ou “em pasta”, já amassada e pronta a aplicar.

Argamassas industriais semi-acabadas – são argamassas pré-doseadas, a modificar em obra. Dentro deste grupo existem as argamassas pré-doseadas e as argamassas pré-misturadas.

Argamassas pré-doseadas – são aquelas cujos componentes são doseados em fábrica e fornecidos em obra, onde serão misturados segundo instruções e condições do fabricante.

Argamassas pré-misturadas – são aquelas cujos componentes são doseados e misturados em fábrica, fornecidos em obra, onde serão adicionados outros componentes que o fabricante especifica ou também fornece.

Argamassas feitas em obra (ou tradicionais) – são argamassas compostas por constituintes primários (por exemplo, ligantes, agregados e água) doseados e misturados em obra.

+ De acordo com a concepção:

Argamassas de Desempenho (ou de prestação), cuja composição e processo de fabrico estão definidos pelo fabricante com vista a obter propriedades específicas;

Argamassas de Formulação, que se fabricam segundo uma composição predeterminada, para a qual as propriedades obtidas dependem da proporção entre os componentes.

- + De acordo com as suas propriedades e utilização:

As propriedades e a sua utilização estão directamente associadas ao fim a que se destinam como, por exemplo, os rebocos, monomassas, argamassas de alvenaria, cimentos-cola, entre outros.

No entanto, são consideradas outras classificações possíveis, do ponto de vista da sua aplicação e ainda segundo o tipo de ligante. De facto, a EMO, baseada em normas europeias (EN) e internacionais (ISO), distingue as seguintes argamassas:

- | | |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| + argamassa mineral de reboco | + argamassa de restauração |
| + reboco orgânico | + argamassa de moldagem |
| + reboco de silicato | + argamassa de reparação do betão |
| + argamassa de aderência | + argamassa de regularização |
| + sistema de isolamento térmico pelo exterior (ITE) | + argamassa autonivelante |
| + argamassa base | + argamassa de betonilha |
| + argamassa base de um ITE | + argamassa de selagem |
| + argamassa de revestimento orgânico | + cimento-cola, (C) |
| + argamassa de revestimento mineral | + adesivo de dispersão, (D) |
| + revestimento monomassa | + cola reactiva, (R) |
| + argamassa de isolamento térmico | + argamassa de juntas |
| + argamassa de drenagem | + argamassa de assentamento de alvenaria |
| + argamassa resistente à intempérie | + argamassa de pavimentação |
| + argamassa de obturação | + argamassa de ancoragem |
| + argamassa de impermeabilização | + argamassa de injeção |
| + argamassa de assentamento de alvenaria | + argamassa de gunitagem |
| + argamassa de cobertura | + argamassa de enchimento |

I. 3.1.1 Argamassas para colagem

Os materiais usados para fixação de cerâmica, conhecidos por adesivos, dividem-se em 3 classes:

- + Adesivos à base de cimento (C): mistura de um ligante hidráulico, agregados e aditivos específicos. Este adesivo é posteriormente misturado com água ou com outro líquido, de forma a obter uma pasta manuseável.
- + Adesivos em dispersão (D): mistura de um ligante orgânico, agregados e aditivos específicos, na forma de uma dispersão. Esta mistura está pronta a usar.

-
- + Adesivos de reacção (R): Mistura de uma resina sintética, cargas minerais e aditivos orgânicos. Podem apresentar-se na forma de 1 ou 2 componentes.

Neste contexto, os produtos apresentados no mercado seguem esta definição e, obviamente, enquadram-se numa das categorias acima indicadas.

A norma EN 12004 indica valores mínimos aceitáveis para a prática de colagem de cerâmica e estabelece classes de acordo com os resultados obtidos. Assim, tem-se:

- + Cimentos-cola (C)

Entre o tipo de ligantes, destacam-se o cimento Portland e resinas redispersáveis ou em emulsão, pelo que a ligação obtida entre estes materiais e os elementos a fixar/suportes é de dois tipos:

- * predominantemente hidráulica, no caso particular em que o ligante é exclusivamente cimento;
- * com uma componente hidráulica e outra química, obtida a partir da adição de polímeros (os mais comuns são acetatos de vinilo, versatato de vinilo, etileno, estireno, acrílico; na maioria dos casos, são utilizados copolímeros como estireno-acrílicos, versatato de vinilo-etileno e, em alguns casos particulares, termopolímeros).

Os ensaios referentes são de tracção perpendicular e envolvem as seguintes situações:

- * aderência inicial (EN 1348/8.2);
- * aderência após envelhecimento por calor (EN 1348/8.4);
- * aderência após imersão (EN 1348/8.3);
- * aderência após ciclos gelo-degelo (EN 1348/8.5).

Consoante o valor mínimo obtido, podem agrupar-se pelas seguintes classes:

- * Classe C1: $> 0.5\text{N/mm}^2$;
- * Classe C2: $> 1.0\text{N/mm}^2$;
- * Classe F (rápida): $> 0.5\text{N/mm}^2$ (após 24 horas).

A classe C2 traduz materiais com elevada capacidade de adesão e, portanto, mais adequados para fixações exigentes como sejam a colagem de elementos cerâmicos de maior formato, de menor porosidade e para aplicações em fachada exterior.

+ Adesivos em dispersão (D)

O tipo de ligante mais comum nestes sistemas é um copolímero estireno-acrílico em emulsão aquosa. A ligação faz-se a partir da formação de filme destes materiais capazes ainda de agregar um conjunto de cargas.

O ensaio de avaliação destes materiais compreende a medição da aderência por corte.

Em relação às condições de ensaio, tem-se:

- * condições iniciais (EN 1324);
- * aderência após acção do calor (EN 1324);
- * aderência a temperaturas elevadas (EN 1324);
- * aderência após acção da água (EN 1324). O comportamento destes sistemas nesta condição permite a sua classificação/distinção por: Classe D1: $> 1\text{N/mm}^2$; Classe D2: $> 1\text{N/mm}^2$, em todos os ensaios acima descritos com a particularidade de apresentar um valor mínimo de 0.5N/mm^2 , no ensaio relativo a imersão em água.

De facto, na prática, a grande dificuldade destes sistemas é a garantia de uma resistência significativa à água sendo mesmo desaconselhados para a fixação de elementos em contacto permanente com aquela substância.

Por outro lado, são ainda comuns os problemas relacionados com a secagem/endurecimento, já o que seu processo de actuação passa pela formação de um filme, a partir da dispersão adicionada, cuja solidez dependente do processo de evaporação da água de amassadura.

+ Colas reactivas (R)

De todos os tipos destacam-se, sobretudo, as colas epoxídicas e de poliuretano. São sistemas bicomponentes.

Estes materiais são avaliados a partir da determinação da aderência por corte nas seguintes condições:

- * aderência inicial (EN 12003);
- * aderência após imersão em água (EN 12003);
- * aderência após choque térmico (EN 12003).

Em termos de distinção, destaca-se o ensaio relativo ao choque térmico, a partir do qual surgem as seguintes classes: Classe R1: $> 2\text{N/mm}^2$; Classe R2: $> 2\text{N/mm}^2$, incluindo a aderência após choque térmico.

Adicionalmente, as colas de reacção devem apresentar bom desempenho quando sujeitas à acção de agentes químicos. A definição normativa sobre este processo remete o tipo de agente químico para o fabricante, pelo que tal indicação varia de acordo com o mesmo.

No geral, independentemente do tipo de ligante utilizado e da classe que o caracteriza, qualquer destes sistemas é também projectado a pensar no aplicador, isto é, com a preocupação de permitir fácil manuseamento. Isto implica:

- * comportamento reológico no estado fresco, perfeitamente adaptado às exigências dos utilizadores;
- * tempos de manuseamento que permitam trabalhos sem pressão, boa capacidade de retenção de água (especialmente em períodos de Verão), ou até materiais de presa rápida, que permitam a consolidação do sistema final em poucas horas. [3,7]

I. 3.1.2 Argamassas de revestimento

As argamassas utilizadas para revestimento podem subclassificar-se, de acordo com a sua aplicação, em:

- + Reboco de uso geral (GP)
- + Reboco leve (LW)
- + Reboco colorido (CR)
- + Monomassa (OC)
- + Reboco de renovação (R)
- + Reboco de isolamento térmico (T)

A norma EN 998-1:2003 prevê a classificação dos rebocos em categorias relativamente a três propriedades do produto endurecido (Tabela III).

Tabela III – Propriedades previstas para argamassas de revestimento, segundo a EN 998-1.

Propriedades	Categorias	Valores
Resistência à compressão a 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 a 5 N/mm ²
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CS IV	= 6 N/mm ²
Absorção de água por capilaridade	W 0	Não especificado
	W 1	C=0,40 kg/(m ² .min ^{0.5})
	W 2	C= 0,20 kg/(m ² .min ^{0.5})
Condutividade térmica	T 1	= 0,1 W/m.K
	T2	= 0,2 W/m.K

Seguidamente é apresentada uma tabela resumo com propriedades requeridas pelas normas EN 1015, EN 1745 e EN 13301, aplicáveis a revestimentos.

Tabela IV – Propriedades de argamassas de revestimento previstas pelas normas EN 1015, EN 1745 e EN 13301.

Propriedades	Normas de ensaio	Tipos de reboco					
		Uso geral, GP	Leve, LW	Colorido, CR	Monomassa, OC	Renovação, R	Isol. Térm, T.
Massa volúmica (kg/m ³)	EN 1015-10	Intervalo de valores declarados	Intervalo de valores declarados=1300	Intervalo de valores declarados			
Resistência à compressão (categorias)	EN 1015-11	CS I a CS IV	CS I a CS III	CS I a CS IV		CS II	CS I a CS II
Aderência (N/mm ²) e tipo de fractura (A, B, C)	EN 1015-12	= Valor declarado e tipo de fractura			-	= Valor declarado e tipo de fractura	
Aderência após ciclos de cura (N/mm ²) e tipo de fractura (A, B, C)	EN 1015-21	-	-	-	Valor declarado e tipo de fractura	-	-
Absorção de água por capilaridade (categorias) apenas rebocos exteriores	EN 1015-18	W0 até W2			W1 até W2	=0.3kg/m ² após 24h	W1
Penetração de água após ensaio de capilaridade (mm)	EN 1015-18	-				= 5 mm	-
Permeabilidade à água, após ciclos cura. (ml/cm ² após 48h)	EN 1015-21	-			= 1 ml/cm ² após 48h	-	
Coefficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ) apenas rebocos exteriores	EN 1015-19	= Valor declarado				=15	
Condutividade térmica (W/m.K)	EN 1745; Tabela A.12	Valor tabelado					-
	EN 1745; Ponto 4.2.2						T1 = 0.10 T2 = 0.20
Reacção ao fogo (classe)	NP EN 13501-1	Classe declarada: · Rebocos, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica inferior a 1%, podem ser classificados como classe A1, sem necessidade de efectuar qualquer teste. · Rebocos, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica superior a 1%, devem ser classificados de acordo com NP EN 13501-1 e declarada a respectiva classe de reacção ao fogo.					

I. 3.2 Matérias-primas

I. 3.2.1 Agregado

Pela EN 998-1, um agregado é um material granular que não intervém na reacção de endurecimento da argamassa. É constituído por misturas de partículas com uma extensa gama de tamanhos, que formam o “esqueleto” da argamassa.

Os agregados utilizados actualmente podem ter várias origens. Podem ser de origem natural, como a areia e o cascalho, que já se encontram nesta forma na natureza; de origem industrializada, em que a composição e granulometria são obtidas, ou ajustadas, por processos industriais que transformam rochas, escórias de alto forno, entre outras; e de origem reciclada, que resultam do processamento de material inorgânico usado anteriormente na construção.

A utilização destes materiais como agregados deve ter em conta a funcionalidade da argamassa que vão integrar e devem obedecer a determinados requisitos. Do ponto de vista físico considera-se importante a dimensão, granulometria, forma granulométrica, massa volúmica das partículas, absorção de água e resistência ao gelo-degelo. Do ponto de vista químico, refere-se o teor em iões cloro solúveis em água dos agregados e cargas; o teor de sulfatos solúveis em meio ácido dos agregados e *fillers* das argamassas; constituintes que alterem o tempo de presa e resistência mecânica da argamassa; matéria solúvel e perda ao fogo.

Em Portugal, os agregados mais utilizados na indústria das argamassas são: as areias de sílica, devido à facilidade de extracção e por se encontrarem em jazidas dispersas por todo o país, resultado em preço reduzido; e os carbonatos de cálcio, devido a serem facilmente trabalháveis, assegurando um desenho granulométrico superior.

I. 3.2.2 Ligantes

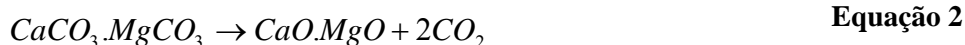
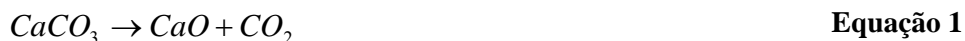
i. Cal

Até meados do século XIX, as argamassas de cal foram utilizadas como os principais elementos de ligação entre as pedras naturais e o suporte dos edifícios.

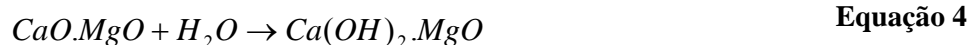
As cais aéreas são constituídas essencialmente por óxido ou hidróxido de cálcio. Endurecem lentamente ao ar mediante reacção com o dióxido de carbono da atmosfera e

não fazem presa dentro de água, pois não têm propriedades hidráulicas. O teor em óxido de cálcio e óxido de magnésio é sempre superior ou igual a 70%.

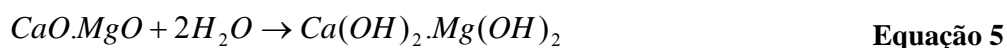
A cal é produzida a partir da calcinação de calcários. Assim, através da dissociação térmica (850-900°C) dos calcários e dolomites obtêm-se, respectivamente, os óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO).



Quando a extinção se faz por imersão em água, obtém-se uma pasta que se pode utilizar como argamassa.



A cal alto cálcio hidrata-se mais facilmente do que a cal dolomítica. Esta, por causa do óxido de magnésio supercalcinado, requer o uso de pressão para hidratação completa.



As cals hidráulicas são produzidas por calcinação de calcários argilosos, com extinção e moagem e/ou produzidas por mistura com materiais com hidróxido de cálcio. São constituídas essencialmente por silicatos de cálcio, aluminatos de cálcio e hidróxidos de cálcio. Fazem presa e endurecem na água.

ii. Cimento Portland

A partir de meados do século XIX, o cimento Portland começou a ser utilizado como principal ligante de argamassas, substituindo progressivamente a cal.

O cimento Portland é obtido a partir misturas de calcário, argilas e outros materiais ricos em sílica, alumina ou ferro. A mistura destes materiais é devidamente doseada e sujeita a temperaturas elevadas, na ordem dos 1500°C, de modo a que no final se obtenha um produto com: CaO (60 a 67%), SiO₂ (17 a 25%), Al₂O₃ (3 a 8%), Fe₂O₃, (0,5 a 6%), MgO (0,1 a 4%), K₂O e Na₂O (0,2 a 1,3%), CaO livre (0 a 2%) e SO₃ (1 a 3%). Os compostos que daqui resultam são apresentados na Tabela V, com a respectiva fracção ponderal.

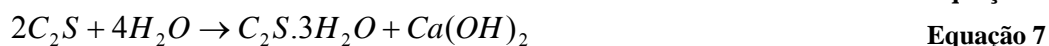
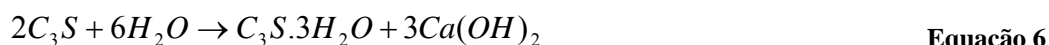
Tabela V – Componentes das diferentes classes de clinker Portland

Tipo cimento (designação ASTM C150)	Percentagem ponderal			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
I	55	20	12	9
II	45	30	7	12
III	65	10	12	8
IV	25	50	5	13
V	40	35	3	14

Legenda: C₃S – silicato tricálcico (alite); C₂S – silicato dicálcico (belite); C₃A – aluminato tricálcico; C₄AF – aluminoferrato tetracálcico;

O tempo de presa de uma pasta constituída exclusivamente por clínquer é muito reduzido, pelo que se adiciona gesso com a finalidade de o aumentar e, consequentemente, facilitar a trabalhabilidade e obter um melhor desempenho em termos de resistência mecânica e de durabilidade. O cimento Portland resulta portanto da mistura de clínquer e gesso.

Para se obter a partir do cimento um sólido com resistência necessária, é preciso misturá-lo com água. Os componentes minerais que constituem o cimento reagem com a água, formando um sistema de compostos hidratados estáveis que cristalizam com hábito acicular, emaranhando-se e colando-se uns aos outros, conferindo ao conjunto uma resistência notável. As reacções principais são:



É de referir ainda que os constituintes minerais do cimento não aparecem isolados numa única partícula, mas associados em partículas com dimensões da ordem das dezenas de micra, estando apenas em condições de se hidratar os que se situam na periferia. Assim sendo admite-se uma diferença entre a composição real dos componentes principais do clínquer e os compostos resultantes nas reacções de hidratação, pois, só no limite, são atingidas condições de hidratação perfeita e total dos componentes. Além disso, os produtos de reacção com a água reagem entre si.

Com o tempo, a portlandite (Ca(OH)₂) reage com o dióxido de carbono presente no ar, transformando-se em calcite. Verifica-se, de facto, que a portlandite das argamassas de

cimento Portland utilizadas em restauros de monumentos, se apresenta total ou quase integralmente carbonatada.

As argamassas estão sujeitas ao ataque de determinados compostos, reagindo quimicamente a partir da superfície. Dos componentes das argamassas de cimento Portland, o cimento é o elemento mais vulnerável, podendo, no limite, perder as suas propriedades ligantes. [26,27]

iii. Ligantes orgânicos

Os produtos que tenham na sua constituição ligantes poliméricos, caracterizam-se por ter uma elevada aderência e flexibilidade. Estes ligantes distinguem-se em: pós redispersáveis, normalmente co-polímeros, como *etilino-veova*, *estiro-acrilico*, *acetato-vinilo*; e, emulsões, as mais comuns são as *estireno-acrilicas*.

As propriedades relevantes destes ligantes, que condicionam a sua escolha, são a deformabilidade, avaliada pela temperatura de transição vítrea (T_g) e a capacidade de coalescência, avaliada pela temperatura mínima de formação de filme (TMFF).

A introdução destes materiais na formulação de uma argamassa garante uma melhoria nos valores de aderência, quando expostos ao calor (Figura 2).

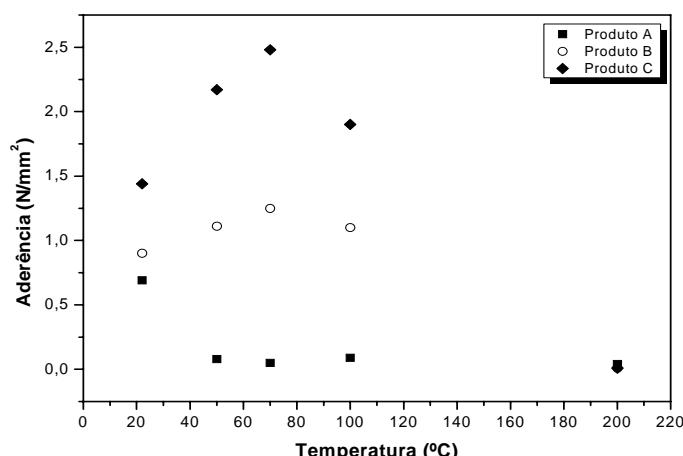


Figura 2 – Efeito da temperatura numa argamassa-cola com fracções diferentes fracções de ligante polimérico (A-0% polímero; B- 1,5% polímero; C-5% polímero).

Essa melhoria é condicionada não só pela quantidade de polímero introduzido, mas também pelo tipo de polímero (Figura 3).

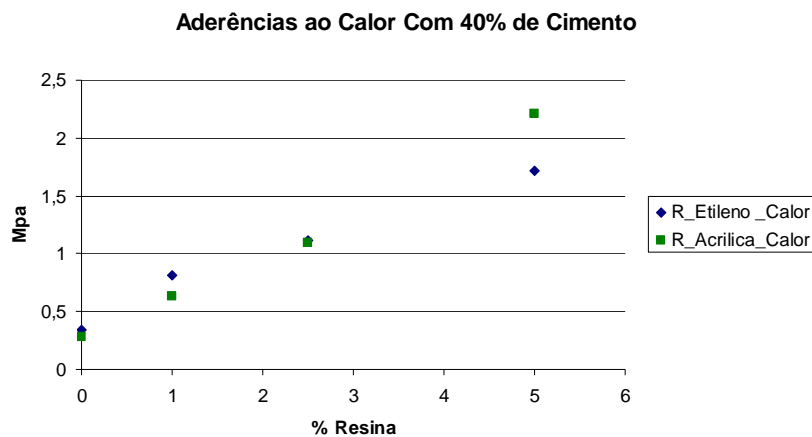


Figura 3 – Efeito do tipo de polímero e quantidade adicionada nos valores de aderência, numa argamassa-cola, após cura ao calor.

Por outro lado, a quantidade de polímero adicionada não tem influência nos valores de aderência, quando as argamassas são expostas à presença de água (Figura 4).

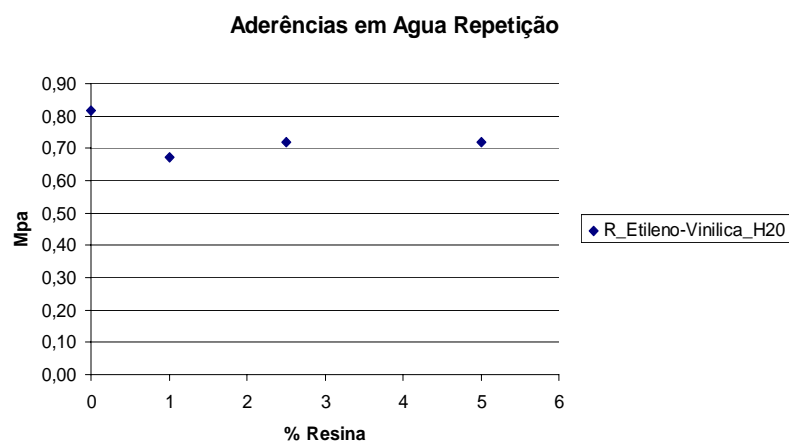


Figura 4 – Efeito da quantidade de polímero adicionada a uma argamassa, nos valores de aderência, após cura em água.

I. 3.2.3 Aditivos e adjuvantes

Com o objectivo de alterar algumas propriedades da argamassa podem ser introduzidos aditivos e adjuvantes, definidos como:

Adjuvante: Material orgânico ou inorgânico adicionado em pequenas quantidades com o objectivo de modificar as propriedades da argamassa fresca ou endurecida. (EN 13318, EN 998-1);

Aditivo: Material inorgânico finamente dividido, que pode ser adicionado à argamassa com o objectivo de obter ou melhorar propriedades específicas. (EN 13318, EN 998);

São estes:

- + Introdutor de ar: adjuvante que permite a incorporação de uma quantidade controlada de bolhas de ar, distribuídas uniformemente na argamassa, que se mantêm após o endurecimento. (EN 13318).
- + Superplastificante: adjuvante que permite reduzir fortemente a quantidade de água de amassadura, sem afectar a consistência, ou que permite um aumento da fluidez, sem alterar a quantidade da água de amassadura, ou ambos os efeitos em simultâneo. (EN 13318).
- + Plastificante: adjuvante de acção semelhante ao anterior mas menos intensa (EN 13318).
- + Retardador: adjuvante que retarda o início da presa. (EN 13318).

I. 3.3 Patologias de argamassas

Verifica-se actualmente uma preocupação crescente com a qualidade da construção, clamada não só pela introdução de regulamentação específica, mas também pela exigência dos consumidores. Não obstante, é possível encontrar uma grande diversidade de patologias em edifícios recentes, normalmente impulsionados por factores como a falta de sistematização do conhecimento, a ausência de informação técnica, a inexistência de um sistema efectivo de garantias e de seguros, a velocidade exigida ao processo de construção, as novas preocupações arquitectónicas, a aplicação e compatibilidade de novos materiais, entre outros.

São as argamassas de revestimento (rebocos) e as argamassas-cola que instigam maior número de estudos preventivos e reparativos, devido ao maior número de patologias correntes, sistemáticas e recorrentes, propulsionados pela vasta utilização.

I. 3.3.1 Argamassas –cola

Seguidamente apresentam-se as patologias mais frequentes associadas a argamassas para colagem [28-31].

Desprendimento de ladrilhos

O desprendimento de ladrilhos pode manifestar-se nas seguintes situações (Figura 5):

- + perda de aderência e desprendimento ou deslocamento de ladrilhos em áreas extensas, precedido de empolamento. Geralmente motivadas por fenómenos de retracção nas camadas subjacentes e elevadas tensões de corte que se geram nos planos de colagem, ou em situações de pressão de vapor de água ou expansão de ladrilhos;
- + perda de aderência e desprendimento ou deslocamento de ladrilhos em correspondência com zona de grande probabilidade de concentração de cargas, causadas por movimentos significativos no suporte, ou em argamassas de módulo de elasticidade superior ao dos azulejos;
- + com iminência de desprendimentos em todo o paramento, geradas por cura deficiente do produto de assentamento, por desrespeito das exigências de aplicação ou ainda por ineficácia do produto. Esta ineficácia pode ser causada por insuficiente resistência mecânica do produto, falta de compatibilidade com o suporte ou condições de aplicação, ou pela falta de qualidade do produto (aderência);
- + desprendimento de peças isoladas ou de pequenas áreas, ocasionadas por penetração recorrente e localizada de água, quantidade insuficiente ou aplicação deficiente do produto ou por fluxo de sais para essas zonas superficiais;



Figura 5 – Exemplos de desprendimento de ladrilhos.

Fissuração dos ladrilhos:

As fissurações presentes nos ladrilhos podem apresentar as seguintes configurações (Figura 6):

- + fissuração fina, sem orientação, distribuída pela generalidade do paramento revestido, devida a movimentos diferenciais dos ladrilhos e do produto de assentamento. Estes podem provir de retracções de secagem inicial do produto de assentamento, de alterações do teor de água do produto, ou por variações de temperatura;
- + fissuração de largura significativa e com orientação bem definida, provocada por ruptura do suporte devido a movimentos na estrutura do edifício, ou por ausência de certas disposições construtivas, como o incorrecto dimensionamento de juntas ou ausência de esquartelamento dos revestimentos em painéis com dimensões limitadas.



Figura 6 – Exemplos de fissuração de ladrilhos.

Formação de manchas nos elementos de revestimento (revestimentos cerâmicos, pedra natural):

As manchas podem manifestar-se como (Figura 7):

- + eflorescências ou criptoflorescências, originadas pela interacção de sais solúveis com as variações de humidade e contacto com a água;
- + carbonatações (eflorescências insolúveis), de difícil remoção;
- + manchas de humidade;
- + manchas provenientes do material de fixação do elemento, causadas por oxidação, ou utilização de argamassas inadequadas;
- + manchas de coloração cinzenta/negra, originadas pela poluição atmosférica;

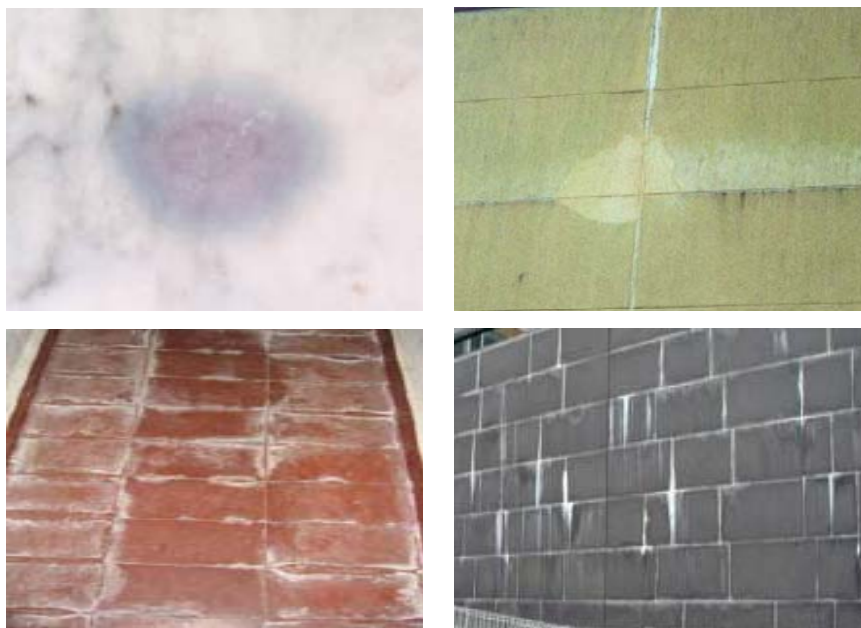


Figura 7 – Exemplos de manchas em ladrilhos.

Fissuração das juntas de revestimento

As fissurações nas juntas de revestimento podem manifestar-se devido a (Figura 8):

- + Inadequação da argamassa ou da junta à largura por exemplo devido ao traço granulométrico inadequado à dimensão da junta, por retracção durante a secagem inicial, por contracções/expansões de origens termo-higrométricas;
- + movimentos dos ladrilhos e/ou do suporte, por extensões de rotura, em tracção ou compressão, insuficientes para absorverem os movimentos transmitidos à junta pelo revestimento ou pelo suporte;
- + descolamento dos bordos, isto é, abertura de fissuras entre o produto e os bordos do ladrilho. Esta patologia pode ser devida à inadequação da argamassa, como aderência insuficiente da argamassa de juntas, ou traço granulométrico incompatível, ou ainda por incorrecta relação largura/profundidade da junta.



Figura 8 – Exemplos de fissuração das juntas de revestimentos.

Falta de impermeabilização

A falta de impermeabilização conduz à fácil penetração de água no sistema e pode estar relacionada com:

- + aparecimento de fissuração;
- + inadequação da argamassa, devido a elevado coeficiente capilar; ausência de agentes hidrófugos.

I. 3.3.2 Argamassas de revestimento

Seguidamente apresentam-se as patologias mais frequentes associadas a argamassas de revestimento [28-31].

Fissuração

As fissuras que surgem nas argamassas de revestimento podem apresentar diferentes configurações (Figura 9):

- + fissuração generalizada, sem orientação preferencial e de pequena largura (mapeada). Surge devido à retracção de secagem inicial da argamassa, ou devido a erros na aplicação, como por exemplo aplicação em camadas de espessura elevadas, utilização de excesso de água na amassadura ou aplicação em condições muito secas (calor, vento seco, suporte muito absorvente).
- + fissuração com orientação horizontal nas zonas de assentamento. É provocada pela expansão da argamassa das juntas de assentamento, pela acção dos sulfatos contidos nos tijolos, blocos ou nas argamassas, ou introduzidas pela água;
- + fissuração de traçado contínuo ao longo das junções de materiais de suporte diferentes, originadas pelas variações dimensionais desses materiais, em situações de secagem inicial, variações de humidade e temperatura;
- + fissuração diagonal a partir dos cantos de vão abertos, por enfraquecimento do suporte nessa zona e deformação dos panos de parede (origem estrutural).



Figura 9 – Exemplos de fissuração em argamassas de revestimento.

Descolamento/Empolamento

Os empolamentos e a perda de aderência estão relacionados com situações de:

- + falta de qualidade do revestimento, que pode advir de alterações ao produto como utilização de água em excesso, adições, reamassadura após parcial endurecimento;
- + aplicação sobre um suporte inadequado ou mal preparado, com resíduos ou muito quente, com humidade insuficiente ou saturado de água.

Diferenças de tonalidade

A existência de diferenças de tonalidades nos revestimentos é associada a (Figura 10):

- + diferentes condições de secagem, como grandes variações de temperatura e humidade durante a aplicação;
- + variações na preparação do revestimento, por exemplo na quantidade de água ou método e tempo de amassadura;
- + variações na realização do acabamento;
- + aparecimento de eflorescências, resultante da cristalização à superfície de sais solúveis, transportados pela água de constituição das argamassas e/ou de infiltração de águas contaminadas;
- + carbonatações.



Figura 10 – Exemplos de manchas em argamassas de revestimentos.

Fungos e bolores (manchas)

O aparecimento de fungos e bolores está relacionado com (Figura 11):

- + localização da fachada, com fraca exposição ao sol e sujeita a exposição permanente à humidade;
- + perda da eficácia dos adjuvantes fungicidas e bactericidas;
- + utilização de dosagens pequenas de adjuvantes na formulação, devido à toxicidade destes ou ao preço;



Figura 11 – Exemplo de fungos em argamassas de revestimentos.

Perda de coesão

A perda de coesão manifesta-se por falta de resistência ao impacto e ao atrito (acções de corte e abrasão). Está associada à carência de cuidados na preparação da argamassa, como utilização de água em excesso nos processos de preparação e aplicação, ou excessivo tempo de mistura.

Falta de impermeabilização

A falta de impermeabilização e a consequente presença de humidade/água proveniente da precipitação, infiltração pelos solos, é provocada por situações de:

- + aparecimento de fissuração;
- + inadequação do produto (baixa resistência à penetração de água, elevado coeficiente de capilaridade).

Deficiências de comportamento térmico

A utilização de argamassas não adequadas às solicitações térmicas pode conduzir a situações de:

- + degradação de revestimentos devido a condensações;
- + fissuração devida a fenómenos termo-higrométricos;
- + necessidades exageradas de aquecimento e/ou arrefecimento;
- + correcção de pontes térmicas.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Foram seleccionadas quatro argamassas-cola e quatro argamassas de revestimento. A selecção dos produtos a analisar coube à empresa. Esta decisão teve como suporte a conjugação de factores como a classe do produto, a sua importância em termos de volume de vendas e o número de reclamações ou patologias associadas.

Os métodos de ensaio, do laboratório weber, utilizados neste trabalho encontram-se no anexo I.

II. 1 Argamassas cola

As argamassas-cola seleccionadas foram:

- + w.col classic (cc). É um cimento-cola, cinza ou branco, adequado para a colocação de azulejos, mosaicos, tijoleira e grés de porosidade média, tanto em pavimentos como em revestimentos interiores. É constituído por cimento (branco ou cinza), areias siliciosas e calcárias e aditivos (orgânicos e inorgânicos).
- + w.fix plus (fp). É uma pasta adesiva branca para a colocação de cerâmica em revestimentos interiores sobre todo o tipo de suportes, com excepção de metal: azulejos antigos, pintura em bom estado, placas de gesso cartonado, madeira, gesso, reboco, fibrocimento, betão celular, entre outras. É constituída por resinas sintéticas em dispersão, cargas siliciosas e aditivos.
- + w.col record (cr). É um cimento-cola branco, bicomponente, de elevada flexibilidade, para colagem de pedras naturais (mármore, calcários, granitos) e cerâmica, de todas as porosidades de grandes formatos, para pavimentos e revestimentos interiores e exteriores. É aplicável em suportes à base de cimento. É constituído por cimento branco, areias siliciosas e calcárias, adjuvantes específicos e resinas em dispersão.
- + w.col flex (cf). É um cimento-cola flexível, de ligantes mistos, para revestimento de fachadas (interiores e exteriores), pavimentos de tráfego intenso, cerâmica de pequeno e grande formato, absorvente ou não absorvente. Também para elementos de pedra natural de formatos médios. Aplicável em suportes à base de cimento. É constituído por cimento, branco ou cinza, areias siliciosas e calcárias e aditivos orgânicos e inorgânicos.

As argamassas foram preparadas segundo as especificações da marca. Foram aplicadas sobre um conjunto de placa de betão revestida com argamassa de reboco (com 28 dias de cura a $T=22\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $Hr=55\pm 5\%$).

Cada produto foi aplicado em quatro placas. Colocaram-se peças cerâmicas sobre a argamassa-cola, para posterior ensaio de tracção, segundo o método ME.LB.014 (adoptado da EN 1348). As placas foram sujeitas a diferentes condições de cura, com o objectivo de simular as condições atmosféricas que as argamassas possam ser expostas, depois de aplicadas em obra:

- + Cura padrão, em que a argamassa fica durante 28 dias à temperatura de 22°C e humidade relativa de $55\pm 5\%$;
- + Cura em imersão, em que a argamassa fica durante 7 dias à temperatura de $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de 50% e posteriormente 21 dias imersa em água;
- + Cura em calor, em que a argamassa fica durante 14 dias à temperatura de $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $55\pm 5\%$ e posteriormente 14 dias à temperatura de 70°C ;
- + Cura mista, em que a argamassa fica durante 14 dias à temperatura de $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $55\pm 5\%$ e posteriormente é sujeita a 10 ciclos que consistem em: 1 dia imersa em água+1 dia à temperatura ambiente+1 dia a 70°C +1 dia à temperatura ambiente.

Após a cura, realizou-se o ensaio de resistência à tracção perpendicular.

A argamassa-cola que restou das placas foi recolhida, com auxílio de um raspador e removeram-se os vestígios da argamassa de reboco-base, com uma lixa ou esmeril (para maiores quantidades de reboco).

Ao material recolhido foram efectuados ensaios de:

- a) Perda de massa por calcinação a 500°C e 900°C , de acordo com o ME.LB.003 (baseado em UNE 83-207-85, Cahiers du CSTB (2669-4) e Guia Técnica UEAtc para la evaluación de colas para revestimientos cerâmicos);
- b) Análise granulométrica, segundo ME.LB.006 (baseado em NP EN 196-6, EN 1015-1);
- c) Ataque com solução ácida. Como este ensaio não é corrente nos métodos de laboratório da weber Portugal, o procedimento adoptado descreve-se a seguir.

O objectivo do ensaio de ataque com ácido consiste na reacção e dissolução dos componentes alcalinos e orgânicos, respectivamente, da argamassa.

Colocaram-se 5g de argamassa endurecida (após cura) num goblé de 100mL. Adicionou-se 50 ml de uma solução de HCl a 10%(v/v). Deixou-se em reacção durante 30 minutos, com auxílio de agitador magnético. Seguidamente filtrou-se a mistura, recuperando os sólidos. A este resíduo adicionado mais 50 ml da solução ácida para tentar garantir a reacção completa dos elementos alcalinos e a dissolução dos componentes orgânicos. Após 1h, voltou-se a filtrar a solução. Com os resíduos sólidos ainda sobre o filtro, procedeu-se à lavagem com várias passagens de água destilada. Secou-se e pesou-se, para o cálculo da fracção de material perdido por ataque com ácido.

$$\text{Resíduo Insolúvel}(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

II. 2 Argamassas de revestimento

As argamassas de revestimento seleccionadas foram:

- + w.pral classic (PC). É uma monomassa para regularização, protecção e decoração de fachadas, possível de aplicar em paredes de alvenaria de tijolo ou blocos de cimento, betão, reboco ou suportes antigos à base de cimento. É impermeável e apresenta-se disponível em 24 cores. É constituída por cimento branco, agregados de granulometria compensada, cargas ligeiras, aditivos orgânicos e inorgânicos e pigmentos minerais.
- + w.rev dur (RD). É um revestimento de regularização e protecção impermeável de fachadas novas, como suporte de revestimentos colados (cerâmica ou pedra natural). Possui cor cinza e elevada resistência mecânica, e é aplicável em suportes de alvenaria de tijolo, de bloco de cimento, betão, reboco e suportes antigos à base de cimento. É constituída por cimento, agregados de granulometria compensada e adjuvantes.
- + w.rev classic (RC). É um revestimento de regularização e protecção de paredes como suporte de revestimentos em camada fina (pinturas, barramentos decorativos). Apresenta-se disponível na cor cinza e branco. É aplicável em suportes de paredes em alvenaria de tijolo ou bloco de cimento, betão, pedra e

rebocos antigos de cimento. É constituída por cimento, inertes de granulometria compensada, adjuvantes e fibras sintéticas.

- + w.rev tradition (RT). É uma argamassa de regularização e protecção de paredes em construção antigas, e possui cor branca. É aplicável sobre suportes de pedra, adobe, taipa, tabique, tijolo e bloco de betão. É constituída por cal, ligante hidráulico, cargas, fibras sintéticas e adjuvantes.

As argamassas foram preparadas segundo as especificações da marca, para cada produto. Foram sujeitas a quatro tipos de cura, à semelhança das argamassas-cola:

- + Cura padrão, em que a argamassa fica durante 28 dias à temperatura de 22°C e humidade relativa de 50%;
- + Cura em imersão, em que a argamassa fica durante 7 dias à temperatura de 22°C e humidade relativa de 50% e posteriormente 21 dias imersa em água;
- + Cura em calor, em que a argamassa fica durante 14 dias à temperatura de 22°C e humidade relativa de 50% e posteriormente 14 dias à temperatura de 70°C;
- + Cura mista, em que a argamassa fica durante 14 dias à temperatura de 22°C e humidade relativa de 50% e posteriormente é sujeita a 10 ciclos que consistem em: 1 dia imersa em água+1 dia à temperatura ambiente+1dia a 70°C+1 dia à temperatura ambiente.

Para o ensaio de resistência à tracção perpendicular uniaxial foi colocada a argamassa sobre o suporte (tijolo), com espessura de 1cm, de acordo com o método ME.LB.014, para monomassas (Figura 12).



a)

Colocação da argamassa no suporte



b)

Alisamento da argamassa

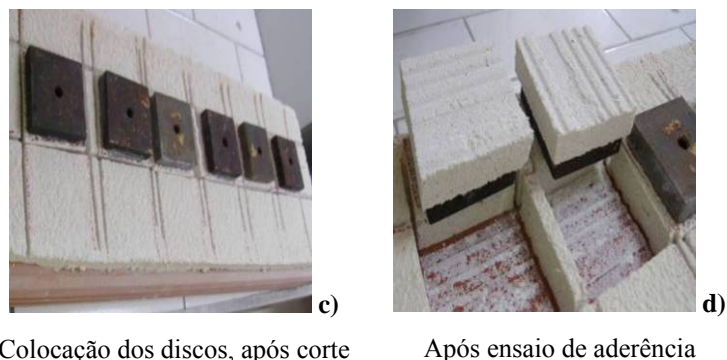


Figura 12 – Preparação do ensaio de tracção perpendicular uniaxial.

O material foi recolhido do disco por meio de serra e aquecimento da cola (Figura 13).

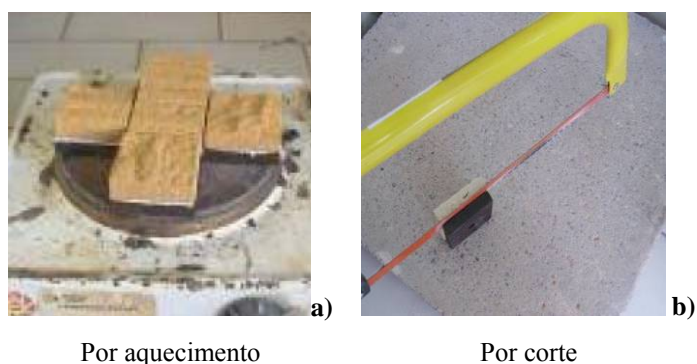


Figura 13 – Método de separação do disco da argamassa.

Para os restantes ensaios foram feitos provetes, de acordo com o método ME.LB.011, com as dimensões $4 \times 4 \times 16$ cm e $2,5 \times 2,5 \times 28$ cm. Com o objectivo de produzir mais provetes e, portanto, conseguir maior número de resultados, foram feitas, posteriormente, placas com 1 cm de espessura e área de 30×30 cm². Após cura, foram cortadas e testadas em termos de:

- + Absorção de água por capilaridade, ME.LB.015 (baseado na EN 1015-18);
- + Resistência à flexão e compressão, ME.LB.013 (baseado na EN 1015-11);
- + Perda de massa por calcinação a 500°C e 900°C, ME.LB.003;
- + Análise granulométrica, ME.LB.006;
- + Absorção de água, e massa volúmica aparente;

Neste último caso é necessário estabelecer algumas considerações.

A massa volúmica aparente foi determinada por dois métodos. O primeiro envolve determinações geométricas, de acordo com o documento *Cahier 2669-4* referente aos métodos de ensaio para a classificação MERUC (CSTB, 1993). A massa volúmica

aparente equivale ao quociente entre a massa do provete e o seu volume determinado geometricamente (Equação 12).

$$M_{v,g} (g / cm^3) = \frac{m_s}{V_g} \quad \text{Equação 12}$$

$M_{v,g}$ - Massa volúmica aparente (ou geométrica) (g/cm³);

m_s - Massa do provete seco (g);

V_g - Volume do provete medido geometricamente (cm³).

O segundo método baseia-se no princípio da impulsão de Arquimedes através da pesagem hidrostática de amostras saturadas, utilizado na norma EN 1015-10 para argamassas. Neste método, a massa volúmica aparente corresponde ao quociente entre a massa seca do provete e o volume que este ocupa quando imerso em água em estado total de saturação.

$$M_{v,H} (kg / m^3) = \frac{m_s}{m_{sat} - m_{ARQ}} \times 10^3 \quad \text{Equação 13}$$

$M_{v,H}$ - massa volúmica aparente (ou hidrostática) (kg/m³);

m_{sat} - massa do provete após saturação (g);

m_{ARQ} - massa do provete em imersão (g).

Na literatura técnica, existem diferentes procedimentos para a determinação da massa volúmica aparente através do método de pesagem hidrostática, variando essencialmente no processo de saturação (imersão com depressão de ar ou sobre pressão) e duração do ensaio.

No segundo método de ensaio utilizado para o cálculo da massa volúmica, os provetes cúbicos foram colocados em estufa, a uma temperatura aproximada de 70 °C ± 5 °C, até atingirem massa constante, registando-se a massa seca de cada provete. Posteriormente, os provetes foram introduzidos numa câmara, a uma pressão constante de 88 cm de coluna de água (8.92 kPa). Após estabilização de massa efectua-se a leitura na balança de Arquimedes. No mesmo processo registaram-se os valores para o cálculo da absorção de água (massa seca e saturada).

III. ELABORAÇÃO DA METODOLOGIA

O objectivo do trabalho consiste na identificação e caracterização de um determinado produto, a partir de um conjunto de ensaios. A comparação efectuada seguidamente, às argamassas estudadas, permite analisar a relevância que o método de ensaio traduz para diferenciar características de argamassas distintas. Ou seja, os métodos de ensaio e a metodologia serão avaliados pela capacidade de diferenciar um determinado produto dos restantes.

Apresentam-se também os valores obtidos e faz-se uma discussão dos factores que originam dispersão de resultados. Esta discussão é essencial para aferir a relevância do ensaio na identificação de um determinado produto, e auxilia na compreensão das causas das oscilações.

A selecção da sequência de ensaios a realizar foi baseada na necessidade de obter um elevado número de resultados, de forma a incrementar a fiabilidade do método. Os primeiros ensaios efectuados são não destrutivos (densidade aparente, absorção de água por capilaridade, etc.). O material é, então, reaproveitado para os restantes ensaios. Esta sequência torna-se importante, também, devido à impossibilidade de, na maioria dos casos, recolher em obra a quantidade de material desejável para análise e identificação. Assim sendo, a escolha dessa sequência permite racionalizar o uso de material, uma vez que as amostras recolhidas em obra são alvo dos mesmos ensaios. O resultado é a obtenção de uma média dos parâmetros analisados e não se sujeita uma amostra apenas a um ensaio, o que poderia não validar o material.

III. 1 Argamassas-cola

III. 1.1 Recolha e tratamento da amostra

A recolha para análise de uma argamassa-cola após colocação em obra, geralmente só é feita quando ocorrem patologias do tipo desprendimento ou fissuração de ladrilhos. Nestes casos, a argamassa endurecida encontrar-se-á ligada ao revestimento cerâmico ou ao suporte onde foi aplicada e parcial ou totalmente desprendida da outra extremidade. A melhor maneira para efectuar a recolha do material terá de ser analisada em cada situação, já que depende fortemente do sistema encontrado. Dependerá também do técnico que a efectuar.

O tratamento do material recolhido consiste na limpeza e eliminação de outros materiais que possam vir associados, como:

- + Rebocos ou outras argamassas de suporte. Estes materiais podem ser removidos através de uma lixa ou esmeril, quando presentes em camadas finas, ou caso estejam em quantidades maiores recorrer ao auxílio de uma serra antes de eliminar os vestígios menores;
- + Juntas. Normalmente as juntas são fáceis de remover, já que se destacam da argamassa-cola por toque. Caso não seja possível, poder-se-á recorrer a uma serra ou esmeril. No caso de a junta e a argamassa-cola terem a mesma coloração (facilmente confundíveis) deve ter-se especial atenção à remoção da junta, para que não ocorra contaminação da amostra.
- + Fibras originárias da rede que suporta as “pastilhas” cerâmicas. Os revestimentos cerâmicos com dimensões reduzidas, por exemplo 1×1cm, geralmente denominados por pastilhas cerâmicas, apresentam-se agrupados em placas de dimensões variáveis (por exemplo 20×20) suportados por uma rede de fibra colada ao tardo, para facilitar a aplicação. Estas fibras podem ser incorporadas na argamassa-cola quando esta se encontra em pasta, o que dificulta a sua remoção após endurecimento. O modo mais simples de remoção será recorrer a um xisato para extrair localmente essas fibras;
- + Revestimento cerâmico. É o contaminante mais difícil de remover. A separação da argamassa-cola do revestimento tem de ser efectuada com recurso ao corte da argamassa com, por exemplo, um xisato. É um processo lento.

III. 1.2 Ensaios efectuados

Em geral as amostras de argamassas-cola têm geometria variável mas sempre de pequena dimensão, geralmente na forma de placas com dimensões inferiores a 0,5×0,5 cm². Este facto limita o número de análises que é possível efectuar. Distinguem-se então as possíveis:

- i. Perda de massa por ataque com solução ácida;
- ii. Perda de massa por calcinação a 500°C e 900°C;
- iii. Análise granulométrica.

Foram realizados ainda ensaios de resistência à tracção perpendicular uniaxial, para possível comparação com os valores obtidos em obra.

III. 1.2.1 Resistência à tracção perpendicular uniaxial

O ensaio de resistência à tracção perpendicular é um ensaio destrutivo, frequentemente utilizado para averiguar o estado de aderência dos panos dos edifícios quando se verificam indícios de desprendimento ou fissuração de ladrilhos.

Os resultados obtidos em laboratório para este ensaio traduzem essencialmente os valores característicos dos produtos, deferidos pelas normas, e não reflectem as condições reais quando ocorrem patologias.

De facto, a vantagem da utilização deste ensaio para identificação do produto torna-se limitada, visto que a tensão de aderência do produto, quando ocorrem patologias como fissurações ou desprendimentos, é fortemente condicionada pela natureza e extensão das patologias (ver capítulo I. 3.3.1), sendo frequente a obtenção de valores de tensão baixos ou mesmo nulos e, portanto, não indicativos das propriedades habituais do material. Deste modo, exclui-se a utilização deste ensaio na metodologia para identificação do produto, o que não invalida a sua importância no reconhecimento do estado de aderência da argamassa.

III. 1.2.2 Caracterização visual

Com a caracterização visual de argamassas-cola pretende-se determinar alguns factores que poderão auxiliar na análise identificativa do produto e na avaliação da patologia. São exemplos desses factores: (i) a cor; (ii) o estado de coesão do produto, que auxilia na interpretação da patologia, ou mesmo, na identificação do produto, já que argamassas-cola de ligantes mistos (por exemplo, *w.col flex*) apresentam uma coesão superior, relativamente a argamassas-cola de ligantes hidráulicos (por exemplo, *w.col classic*); (iii) contaminações, que poderão mascarar os valores obtidos nos ensaios; e, (iv) configuração da argamassa no tardo da peça cerâmica, que poderá indicar uma incorrecta aplicação, por exemplo, visibilidade dos cordões da argamassa (feitos pela talocha) indica falta de *aperto* da peça cerâmica após aplicação.

III. 1.2.3 Perda de massa por calcinação

As temperaturas seleccionadas para caracterizar o material através da perda de massa por calcinação foram 500°C e 900°C. Esta escolha teve por base questões logísticas, já que o laboratório weber dispõe de uma mufla, que é utilizada diariamente a estas temperaturas pelo Controlo de Qualidade.

i. Perda de massa por calcinação a 500°C

A determinação da perda de massa por calcinação a 500°C é um método que permite o conhecimento da fracção de aditivos e adjuvantes orgânicos e da água de constituição de alguns constituintes hidratados presentes na argamassa.

As amostras foram calcinadas após colocação em estufa (70°C), até se registar massa constante. Os resultados de perda de massa por calcinação a 500°C estão apresentados na Tabela VI e Figura 14, para as quatro condições de cura.

Tabela VI – Valores de perda de massa obtidos por calcinação a 500°C nas argamassas-cola.

Perda de massa por calcinação a 500°C (%)						
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	n° amostras
<i>w.fix plus</i>	8,57	0,89	10,42	6,26	9,33	10
<i>w.col record</i>	9,68	0,74	7,65	8,83	10,82	11
<i>w.col flex</i>	8,97	1,50	16,73	6,46	11,48	16
<i>w.col classic</i>	3,30	0,81	24,62	1,79	4,41	16

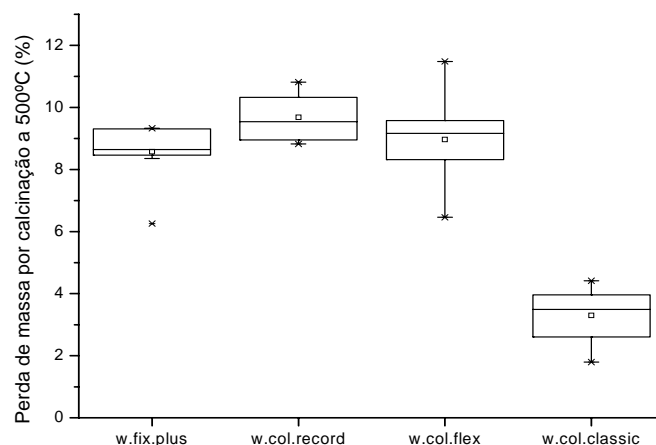


Figura 14 – Valores de perda de massa das argamassas-cola obtidos por calcinação a 500°C.

Os valores de perda de massa obtidos por calcinação a 500°C distinguem o *w.col classic* das restantes argamassas-cola analisadas, uma vez que são distintamente inferiores. Na Tabela VI verifica-se que a perda máxima obtida por calcinação a 500°C do *w.col classic* foi de 4,41%, significativamente menor às perdas de massa das restantes. Adicionalmente, constata-se que o coeficiente de variação deste produto é o mais elevado. A utilização de fracção de material reciclado nesta formulação pode contribuir para a superior dispersão, dada a inconstância daquele composto.

Os coeficientes de variação observados nas quatro argamassas poderão:

- + Advir de falhas durante o trabalho experimental, como seja a calcinação de provetes com água residual;
- + Ser inerentes ao material, resultado das heterogeneidades das argamassas;
- + Ser devidos à calcinação realizada a 500°C, já que se reconhece que o intervalo de desidroxilação da portlandite (entre 500°C e 550°C) se situa nessa temperatura. Assim admite-se que parte da perda de massa ocorrida por esse processo se verifique neste ensaio e outra parte na calcinação a 900°C. No entanto, é de referir que os coeficientes de variação não são elevados para que se reconsidere esta temperatura de ensaio, face às questões logísticas já apresentadas.

Os resultados obtidos não evidenciam comportamentos padrão para nenhum tipo de cura. Observa-se apenas que a cura inicial (a 28 dias) origina oscilações menores que as restantes condições de cura (Figura 15).

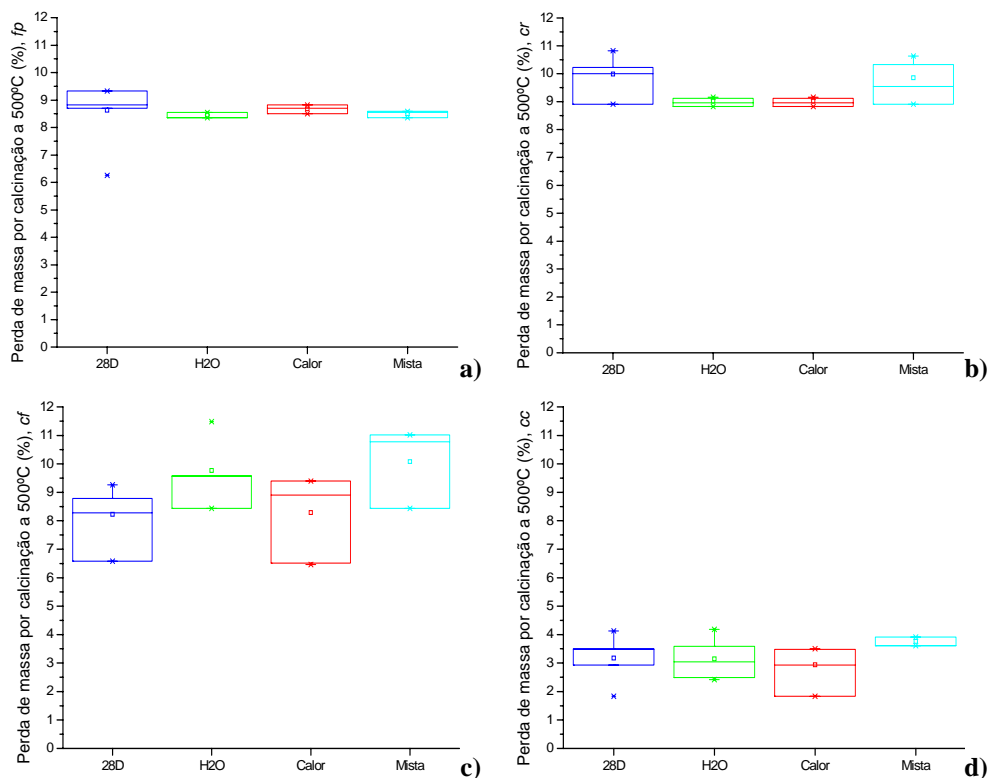


Figura 15 – Valores de perda de massa por calcinação a 500°C, das argamassas-cola. a) w.fix plus; b) w.col record; c) w.col flex; d) w.col classic.

ii. Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C

O material utilizado para a calcinação a 900°C foi o resultante da calcinação a 500°C, ou seja, praticou-se uma metodologia sequencial. Esta opção prende-se com a indissociação dos dois ensaios e com necessidade, já referida, de racionar o uso de material. A perda registada neste intervalo de temperaturas traduz maioritariamente a libertação de CO₂ resultante da decomposição dos carbonatos de cálcio/magnésio presentes nas argamassas.

As fracções de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C estão apresentadas na Tabela VII e Figura 16 para as quatro condições de cura.

Tabela VII – Valores de perda de massa das argamassas obtidas por calcinação, entre 500°C e 900°C.

Perda de massa por calcinação a 900°C (%)						
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	nº amostras
<i>w.fix plus</i>	23,05	0,58	2,51	22,21	23,52	11
<i>w.col record</i>	4,63	1,48	31,91	2,14	6,30	11
<i>w.col flex</i>	8,32	0,82	9,87	6,62	9,38	15
<i>w.col classic</i>	4,24	0,99	23,26	3,05	6,01	16

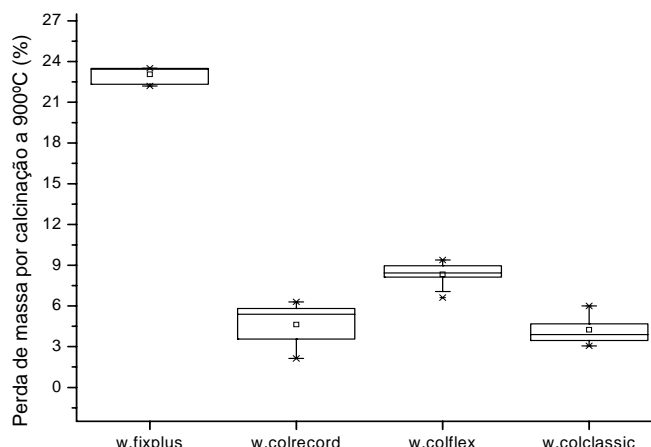


Figura 16 – Valores de perda de massa das argamassas-cola obtidos por calcinação, entre 500°C e 900°C.

Neste ensaio, o produto *w.fix plus* evidencia-se dos restantes por apresentar perdas de massa superiores. Os valores obtidos para este produto situam-se entre 22,21% e 23,52%, suficientemente distintos dos máximos encontrados para as outras argamassas-cola (*w.col record* – 6,30%; *w.col flex* – 9,38%; *w.col classic* – 6,01%)

Esta diferença está associada ao facto deste produto ser de classe diferente dos restantes. Este produto pertence à classe “adesivos em dispersão (D)”, enquanto que os restantes são da classe “cimento-cola (C)”. O *w.fix plus* é constituído maioritariamente por cargas calcíticas, daí a elevada perda de massa a 900°C, que corresponde à libertação de CO₂ dos carbonatos presentes.

À semelhança do que se verificou para a calcinação a 500°C, as diferentes condições de cura não aparentam instigar nenhuma distinção relevante no comportamento das argamassas calcinadas a 900°C (Figura 17). O *w.fix plus* apresenta gamas de valor semelhantes para todas as condições consideradas. As restantes argamassas-cola apresentam diferentes dispersões consoante o tipo de cura, mas as médias obtidas são próximas.

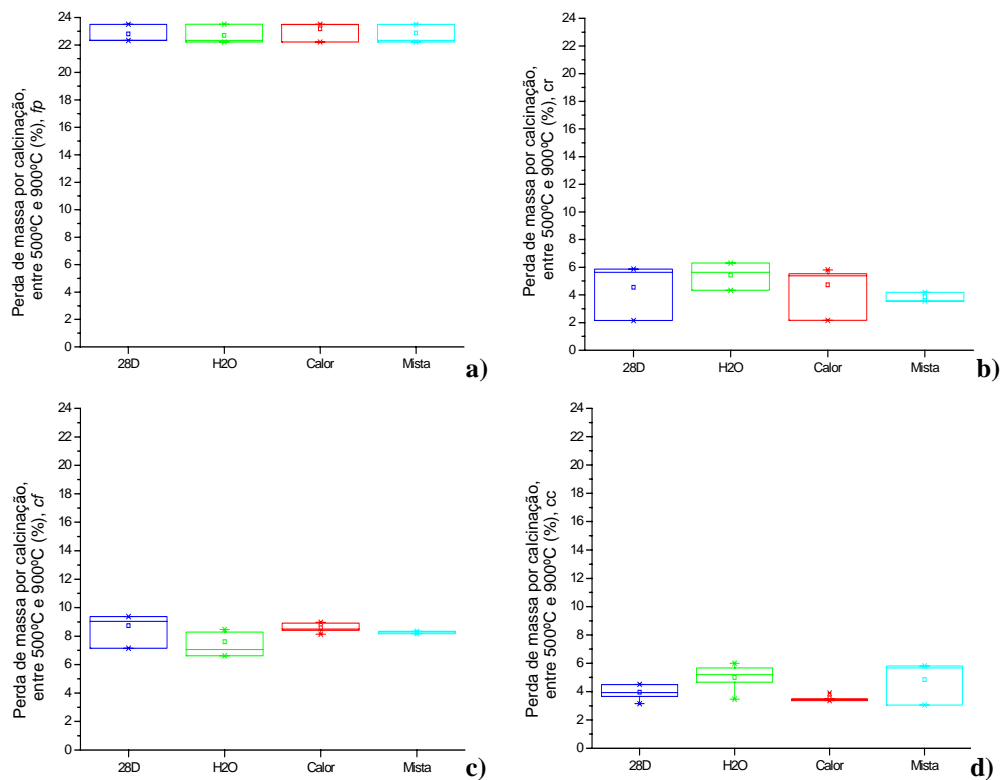


Figura 17 – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C, das argamassas-cola. a) w.fix plus; b) w.col record; c) w.col flex; d) w.col classic.

Os coeficientes de variação observados nos valores das quatro argamassas poderão, à semelhança do ensaio realizado a 500°C, ser causados pelas heterogeneidades próprias das argamassas. Outro factor que poderá ser responsável pela dispersão de resultados, nesta gama de temperaturas, é o estado de carbonatação das argamassas. Devido à impossibilidade de realizar os ensaios imediatamente após o tempo de cura, estas permaneceram durante mais algum tempo a $50 \pm 5\%$ Hr e $22 \pm 2^\circ\text{C}$, o poderá instigar uma variação de grau de carbonatação dos componentes presentes nas argamassas. De facto, as argamassas de base cimentícia presentes são as que apresentam maior dispersão de resultados, que poderá advir da carbonatação diferencial, influenciada pelo tempo e pelas condições de cura. Note-se que o único produto sem cimento incorporado, o *w.fix plus* apresenta níveis de dispersão similares para todas as condições de cura, dado não haver processos de reacção de compostos minerais, apenas um processo de secagem e formação de filme do ligante orgânico que o constitui.

iii. Considerações finais sobre a perda de massa por calcinação

O ensaio de perda de massa por calcinação a 500°C e, entre 500°C e 900°C aparenta ser, numa primeira abordagem individual (não comparado com outros), de significativa importância na identificação dos produtos. É possível distinguir duas argamassas-cola, o *w.col classic* (a 500°C) e *w.fix plus* (entre 500°C e 900°C).

Para uma análise dos resultados obtidos no ensaio de calcinação, para amostras recolhidas em obra, há que ter em consideração alguns factores que poderão causar desvios, em particular associados a contaminações em obra.

III. 1.2.4 Ataque com solução ácida

Durante os ensaios de ataque com solução ácida verificaram-se alguns problemas que retiraram consistência experimental e tornaram duvidosa a análise interpretativa dos resultados na identificação das argamassas. São elas:

- + O tempo necessário para realizar o ensaio. A secagem prévia da amostra, seguida das várias passagens por ácido e a consequente secagem exigem um mínimo de três dias para realizar este ensaio. Ora, no que respeita a reclamações e dúvidas com a identificação do produto, é necessário obter respostas rápidas;
- + Garantia de dissolução dos constituintes solúveis, como discutido no capítulo I. 2.4.1, e, possível perda de material com as filtrações de decantações necessárias;
- + A impossibilidade de dissolução de alguns produtos. Por exemplo, o *w.col.record* em contacto com a solução ácida mantém o aspecto inicial (apenas perde rigidez), o que dificulta a posterior análise de fracção residual;
- + A dificuldade em analisar elevadas quantidades de material. A utilização de apenas 5g de material é devida a dois factores: (i) a forte reacção exotérmica, resultante da natureza dos constituintes (ácido forte-base forte), leva a que se limite a quantidade de material analisado, de modo a ser possível controlar mais facilmente a reacção; (ii) garante-se uma reacção completa entre a quantidade de material utilizado e o volume de ácido. A importância do uso de maior quantidade de material prende-se com a necessidade de realizar, posteriormente, outros ensaios ao material já analisado. Por exemplo, para efectuar uma análise granulométrica é desejável uma quantidade de material bem superior, de modo a diminuir o erro associado à

quantidade de material retida em cada peneiro (segundo o método de ensaio do laboratório weber utilizam-se 100g).

III. 1.2.5 Análise granulométrica

Para efectuar a análise de distribuição de tamanho de partículas e caracterização efectuou-se uma desagregação prévia da amostra. Devido às dificuldades encontrada nesse processo: (i) coesão elevada dos materiais; (ii) dependência da eficiência de desagregação (moagem manual com almofariz) no resultado da análise granulométrica; (iii) possibilidade de moagem e desintegração de partículas originais da formulação (como carbonatos), optou-se por realizar esta análise ao material procedente da calcinação a 900°C. Após calcinação o material encontra-se pouco coeso o que facilita a moagem, que apenas contribui na desagregação de alguns aglomerados de material. Do material obtido, interessa sobretudo analisar as partículas de sílica, já que se espera permanecerem intactos após a calcinação a 900°C. Considerando que as partículas de sílica são de dimensões, normalmente, acima de 160µm, é expectável que sejam as malhas, de abertura superior a este valor, as mais representativas para as conclusões finais.

Os resultados obtidos de distribuição de partículas estão apresentados na Tabela VIII e Figura 18.

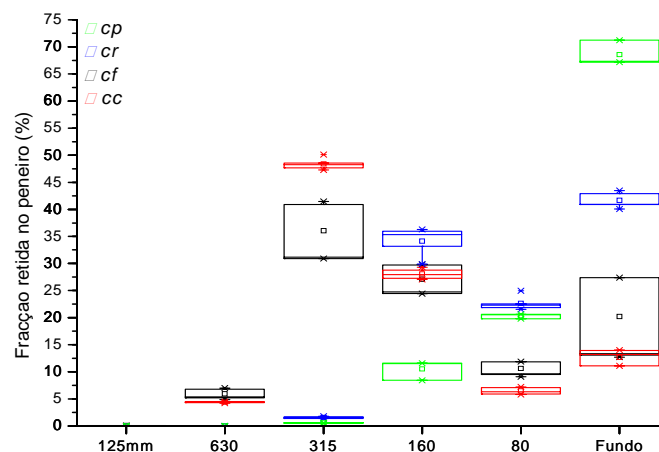


Figura 18 – Valores da fracção retida por peneiro, para as quatro argamassas-cola.

Tabela VIII – Análise granulométrica efectuada por crivagem, às argamassas-cola.

		Fracção de material retida no peneiro (%)			
Peneiro		w.fix plus	w.col record	w.coflex	w.col classic
1,25mm	Média	-	-	0,1	-
	Coeficiente de Variação (%)	-	-	77,5	-
	Min	-	-	0,0	-
	Max	-	-	0,1	-
630	Média	-	-	6,0	4,4
	Coeficiente de Variação (%)	-	-	15,0	3,1
	Min	-	-	4,9	4,2
	Max	-	-	7,0	4,5
315	Média	0,6	1,6	36,0	48,4
	Coeficiente de Variação (%)	10,5	11,3	15,3	2,2
	Min	0,5	1,4	30,9	47,3
	Max	0,6	1,8	41,5	50,1
160	Média	10,5	34,1	27,1	28,1
	Coeficiente de Variação (%)	17,0	7,8	10,3	3,5
	Min	8,5	29,9	24,5	27,1
	Max	11,6	36,3	29,8	29,3
80	Média	20,3	22,6	10,6	6,5
	Coeficiente de Variação (%)	2,2	6,0	12,6	10,1
	Min	19,8	21,5	9,1	5,8
	Max	20,6	25,0	11,9	7,2
Fundo	Média	68,6	41,7	20,2	12,7
	Coeficiente de Variação (%)	3,3	3,5	38,8	11,6
	Min	67,2	40,1	12,7	11,1
	Max	71,2	43,5	27,4	14,0

Com efeito, pelos resultados obtidos, constata-se que a distribuição granulométrica permite diferenciar as argamassas-cola.

O *w.col classic* apresenta um resíduo ao peneiro de 315µm superior aos restantes (47,3% a 50,1%). Esta fracção é constituída essencialmente por sílica de tons cremes acastanhados. Todo o resíduo apresenta coloração creme, sendo os de inferior dimensão granulométrica (80µm e fundo) ligeiramente mais cinza, devido à presença maioritária de compostos de cimento. O produto analisado era de cor cinza. Admite-se que o resíduo dos peneiros de malha inferior possa ser mais claro caso se trate de um produto branco.

O *w.col flex* é o que apresenta uma maior fracção de material retido na malha de 630µm (até 7%), e ainda o único que apresenta vestígios de material no peneiro de 1,25mm (0,1%). Estes resíduos são constituídos por sílica de tons beges e rosa. O material retido nos restantes peneiros é de cor bege.

O *w.col record* e o *w.fix plus* só apresentam material retido no peneiro de malha de 315µm ou inferior. Em termos de coloração também apresentam semelhanças, com resíduo ao peneiro branco. O *w.fix plus* distingue-se por apresentar fracção de material passante a 80µm na ordem dos 67,2% a 71,2%.

Visualmente estas diferenças estão ilustradas na Figura 19.

A análise visual da fracção de material retida nos peneiros apresenta-se, deste modo, como complemento essencial à confirmação dos resultados, ainda que de uma forma qualitativa. O material foi recolhido e catalogado para posterior comparação visual com produtos sujeitos a esta metodologia.

	w.fix plus	w.col record	w.col flex	w.col classic
1,25mm				
630µm				
315µm				
160µm				
80µm				
Fundo				

Figura 19 – Representação fotográfica da fracção de material retida nos peneiros, das argamassas-cola.

III. 1.3 Considerações finais sobre a análise às argamassas-cola

As argamassas analisadas apresentam valores característicos para os ensaios efectuados, que permitem a sua identificação. Verificam-se algumas particularidades que as distinguem claramente. O *w.col classic* apresenta uma baixa perda de massa por calcinação a 500°C (1,79% - 4,41%); o *w.fix plus* apresenta uma elevada perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C (22,21% - 23,52%) e um resíduo passante no peneiro de 80µm na ordem dos 70%; o *w.col flex* é identificável pela elevada fracção de material nos resíduos de malha de dimensão superior (1,25mm e 630µm).

Na Figura 20 é sugerida a sequência de passos para a análise das argamassas-cola. Na Tabela IX indicam-se os intervalos obtidos em cada ensaio e para cada argamassa.

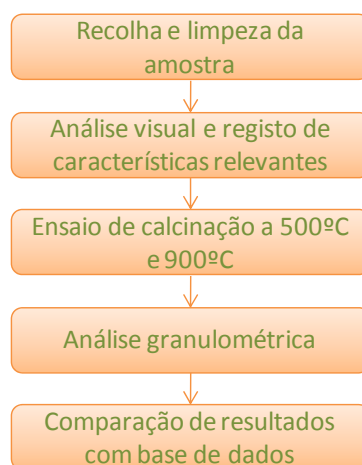


Figura 20 – Fluxograma da metodologia proposta para argamassas-cola.

Tabela IX – Síntese dos resultados obtidos nos ensaios sugeridos na metodologia, para as diferentes argamassas-cola.

		w.fix plus		w.col record		w.col flex		w.col classic	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		6,26	9,33	8,83	10,82	6,46	11,48	1,79	4,41
Perda de massa por calcinação entre 500°C e 900°C (%)		22,21	23,52	2,14	6,30	6,62	8,97	3,15	4,67
Fracção de material retida (%)	1,25mm	-	-	-	-	0,0	0,1	-	-
	630µm	-	-	-	-	4,9	7,0	4,2	4,5
	315µm	0,5	0,6	1,4	1,8	30,9	41,5	47,3	50,1
	160µm	8,5	11,6	29,9	36,3	24,5	29,8	27,1	29,3
	80µm	19,8	20,6	21,5	25,0	9,1	11,9	5,8	7,2
	Fundo	67,2	71,2	40,1	43,5	12,7	27,4	11,1	14,0

III. 2 Argamassas de revestimento

III. 2.1 Recolha e tratamento das amostras

Algumas amostras de argamassas de revestimento foram obtidas a partir do ensaio de resistência à tracção uniaxial. Sendo este ensaio bastante comum na análise do estado de consistência do revestimento, é importante definir a melhor maneira de recuperar o material para posteriores análises. Deste modo e, dado que o material se encontra colado a um suporte metálico, o primeiro passo consistiu em definir a melhor forma de realizar essa separação. Idealizaram-se duas situações: a primeira, com extracção por aquecimento e fusão da cola; e a segunda, por corte da argamassa, com serra.

Dado que o número de amostras não foi suficiente para efectuar ensaios e fazer uma avaliação estatística representativa do efeito do corte da argamassa e do aquecimento da cola, optou-se por fazer uma avaliação qualitativa dos dois processos:

Tabela X – Vantagens e desvantagens dos métodos de recolha de disco.

	Recolha por corte	Recolha por aquecimento
Vantagens	Não há alteração da estrutura física e química das amostras. Só em casos de elevada falta de coesão do reboco é que podem surgir fissuras, ou mesmo, degradação da amostra;	Processo rápido; Obtém-se a totalidade da amostra recolhida na obra.
Desvantagem	Processo mais trabalhoso e moroso; Não se aproveita a totalidade do reboco retirado da obra.	Possível queima dos constituintes orgânicos da amostra, que alteram algumas propriedades. Por exemplo: queima de hidrófugos pode levar a obtenção de índices de capilaridade mais elevados, valores de perdas de massa por calcinação inferiores; fusão da cola pode colmatar poros e alterar os valores de índice de capilaridade, absorção de água...

Ponderando os aspectos negativos e positivos de ambos os processos, considerou-se a separação por corte a melhor opção para a recolha da amostra. Salvaguarda-se assim a entidade química da amostra, e elimina-se uma variável responsável pela possível diversidade de resultados, nos ensaios a efectuar.

Quando o material é recolhido em placas é necessário efectuar o seu corte deste, com serra ou rebarbadora, em provetes paralelepípedicos de área de base $4(\pm 1) \times 4(\pm 1) \text{ cm}^2$ e

espessura de acordo com a que estava aplicada em obra. É também importante obter cubos de 1cm³, para o ensaio de massa volúmica aparente. Sugere-se ainda efectuar uma secagem do material recolhido, antes da realização dos ensaios, de modo a evitar a presença de humidade resultante de chuva ou infiltrações do solo.

III. 2.2 Ensaios efectuados

III. 2.2.1 Caracterização visual

A caracterização visual dos produtos é imprescindível para o conhecimento e avaliação das patologias. Através desta análise pretende-se qualificar o estado de coesão do produto, a existência de fissuração, de contaminantes, de fungos, que possam ser responsáveis pelo aparecimento da patologia.

Por outro lado a caracterização visual permite uma análise mais cuidada dos resultados obtidos nos ensaios efectuados à identificação do produto. Por exemplo, um material pouco coeso poderá indicar valores de resistência mecânica que não correspondam à identidade desse produto. Do mesmo modo, permite o reconhecimento de características que não são traduzidas pelos ensaios laboratoriais, como a presença de fibras, micas, cor, entre outros.

O *w.pral.classic* apresenta características visuais, que podem auxiliar na identificação do produto. São elas, a presença de mica, que se identifica no material por partículas prateadas (difícil visualização) e a possibilidade de 24 cores para este produto, que pode levar a uma comparação com os padrões em laboratório. No entanto, não esquecer que o material pode ter sofrido descolorações e manchas durante o tempo que esteve exposto.

O *w.rev.dur* apresenta-se apenas numa cor, cinza, e a caracterização visual possível para identificação do produto torna-se limitada pois não possui aspectos relevantes que o possam demarcar de outros produtos da mesma gama.

O *w.rev.classic* está disponível em branco e cinza. A versão cinza assemelha-se visualmente ao *w.rev.dur*, com uma diferença, por vezes imperceptível, que é a presença de fibras.

O *w.rev.tradition* está disponível apenas em branco. A existência de fibras neste produto pode auxiliar na identificação.

III. 2.2.2 Resistência à tracção perpendicular uniaxial

À semelhança do que se concluiu em III. 1.2.1 para argamassas-cola, exclui-se a utilização deste ensaio na metodologia para identificação de produtos de revestimento, uma vez que os valores de tensão de ruptura são fortemente condicionados pela patologia associada e pelas condições externas a que o material esteve sujeito, como tensões do suporte e condições de aplicação da argamassa. No entanto, não deixa de ser um método fundamental para o reconhecimento do estado de aderência dos panos do edifício.

III. 2.2.3 Massa volúmica aparente

Para determinar a massa volúmica foram cortadas amostras de material em cubos de cerca de 1cm^3 . Procedeu-se ao ajuste dimensional com craveira e à pesagem, após colocação em estufa a 70°C , até obter massa constante. Os valores obtidos, resultantes da Equação 12, estão apresentados na Tabela XI e Figura 21.

Tabela XI – Massa volúmica aparente (g/dm^3) das quatro argamassas testadas.

Massa volúmica aparente (g/dm^3)						
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	nº amostras
PC	1,406	0,044	3,140	1,326	1,467	24
RD	1,587	0,028	1,783	1,538	1,633	24
RC	1,492	0,032	2,123	1,422	1,541	24
RT	1,285	0,091	7,057	1,150	1,540	25

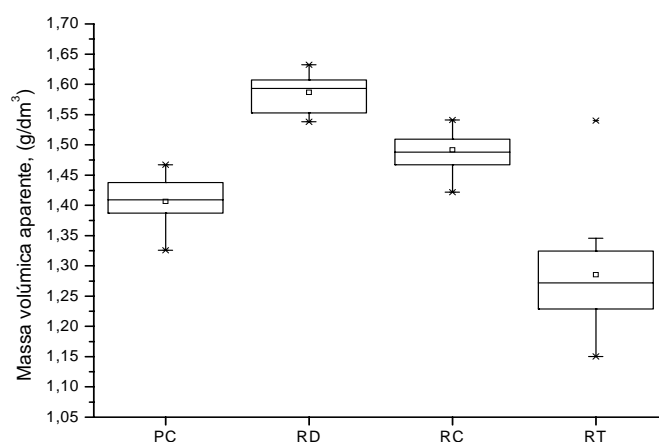


Figura 21 – Valores de massa volúmica aparente (g/dm^3) para as quatro argamassas.

Salienta-se a massa volúmica superior da amostra *w.rev dur*, com valores entre 1,538 e 1,633g/dm³ e a baixa densidade do material *w.rev tradition*, entre 1,150 e 1,540 g/dm³. Este facto é perceptível já que, como foi referido no capítulo II. 2, o *w.revtraditon* é constituído maioritariamente por cal. Este ligante, comparativamente com os ligantes hidráulicos, propicia a obtenção de produtos endurecidos com maior porosidade, daí a inferior massa volúmica.

Não obstante, os resultados obtidos não distinguem de forma inequívoca nenhuma argamassa, uma vez que há valores comuns de massa volúmica entre, pelo menos, duas argamassas. Obtiveram-se coeficientes de variação baixos, que traduzem heterogeneidades das argamassas causadas, em parte, pelas condições de cura, como se verifica na Figura 22.

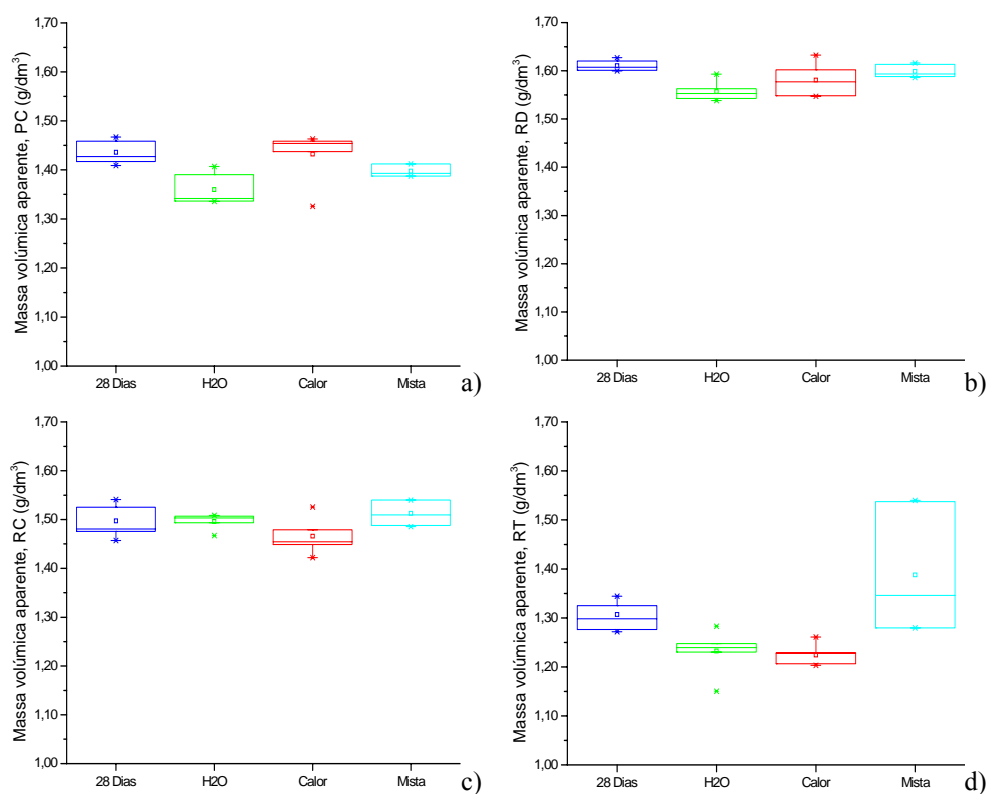


Figura 22 – Valores da massa volúmica aparente (g/cm³) em função da condição de cura, para as quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.

Importa referir ainda a necessidade de obter provetes com geometria regular, de modo a estimar com rigor o seu volume. Este processo é, por vezes, crítico com argamassas de elevada resistência mecânica ou nas que são pouco coesas.

Na análise de um valor de massa volúmica, aquando a identificação de um produto, deve-se ter em consideração alguns aspectos que podem mascarar o efeito desta

propriedade, uma vez que é bastante sensível às condições de exposição (Figura 22) e de aplicação. A compacidade induzida pelo operador, a fracção de água adicionada, o tempo de mistura e de repouso, etc. são variáveis relevantes.

III. 2.2.4 Absorção de água sobre pressão e porosidade aberta

i. Absorção de água sob pressão

Os provetes utilizados para o cálculo da massa volúmica, $M_{v,g}$, foram colocados numa câmara com água sob pressão (80 cm coluna água), com o intuito de conhecer a capacidade de absorção de água dos produtos e, após saturação, efectuar a pesagem hidrostática para o cálculo da massa volúmica, $M_{v,H}$, a partir da Equação 13. Registou-se a massa dos provetes ao fim de 1, 2 e 8 semanas de exposição. Os valores obtidos estão apresentados na Figura 22 e Tabela XII.

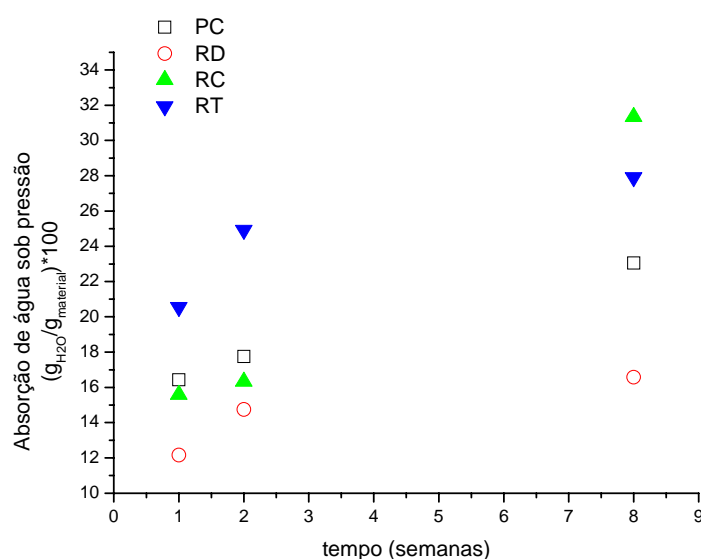


Figura 23 – Representação das médias de absorção de água sob pressão em função do tempo de ensaio.

Analisando a figura verifica-se que após duas semanas de ensaio as argamassas continuam a absorver água.

Tabela XII – Resultados do ensaio de absorção de água sob pressão em função do tempo de ensaio.

Produto	Tempo de ensaio	Fracção de água absorvida (%)			
		Média	Coefficiente de Variação	Mínimo	Máximo
PC	1 semana	16,43	11,76	13,92	20,06
	2 semanas	17,76	16,34	11,85	22,88
	8 semanas	23,06	5,66	20,95	25,15
RD	1 semana	12,16	18,70	9,97	16,15
	2 semanas	14,75	11,24	12,38	17,95
	8 semanas	16,58	4,38	15,30	17,18
RC	1 semana	15,58	14,74	12,62	18,86
	2 semanas	16,33	11,51	12,03	18,64
	8 semanas	31,34	39,57	9,18	48,51
RT	1 semana	20,55	13,77	16,72	25,51
	2 semanas	24,92	7,94	21,71	28,32
	8 semanas	27,91	4,24	26,64	30,03

Um recurso seria adoptar este ensaio para um tempo específico, isto é, considerar, por exemplo, a massa de água absorvida sob pressão ao fim de uma semana de ensaio. Esta hipótese tem à partida o inconveniente de originar coeficientes de variação elevados (Tabela XII). De facto, a representação gráfica dos valores de 1 semana de ensaio é ilustrativa (Figura 24). Adicionalmente, os valores obtidos não demarcam as argamassas.

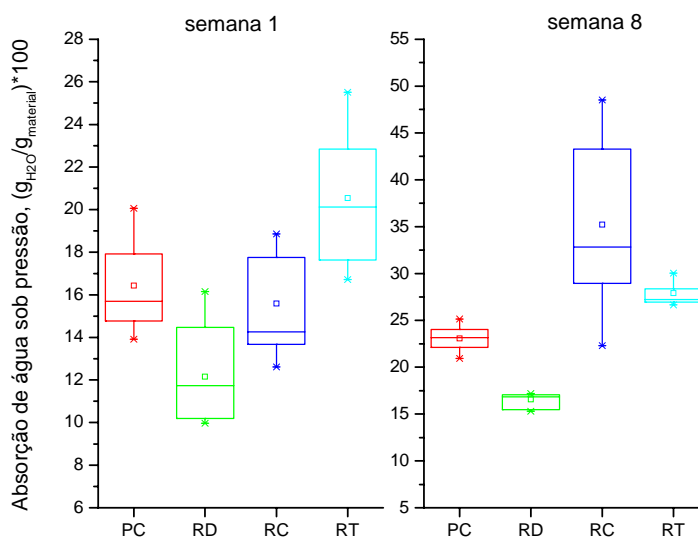


Figura 24 – Valores de absorção de água sob pressão, para 1 e 8 semanas de ensaio.

Por outro lado, após de 8 semanas, onde se admite um grau de saturação próximo do limite, já que é possível distinguir as formulações PC, RD e RT.

A RC apresenta um coeficiente de correlação elevado, que poderá traduzir heterogeneidades mais acentuadas deste material e, por outro lado, significar falta de resistência à exposição prolongada sob pressão. De facto, verifica-se na Tabela XII, que o valor mínimo para as 8 semanas do RC é inferior ao valor mínimo para 2 semanas, o que indica perda de massa por degradação de material.

O tempo para atingir o ponto de saturação de água é excessivo para que esta metodologia seja considerada interessante. Com o mesmo fundamento, exclui-se o cálculo da massa volúmica a partir da pesagem hidrostática, já que não é possível distinguir as argamassas consideradas nas primeiras semanas. Os resultados obtidos estão apresentados em anexo I.

Este ensaio teria de ser optimizado para aplicação nesta metodologia. Propõe-se a realização de um estudo onde se considere um aumento da pressão aplicada de modo a diminuir o tempo necessário para a saturação dos provetes, analisando a sua integridade. Uma vez conseguido este, acresce-se o interesse na medição a massa volúmica por pesagem hidrostática, já que não é condicionada uma geometria regular do provete, como o sugerido no capítulo III. 2.2.3.

ii. Porosidade Aberta

Com os valores de massa obtidos em i., calculou-se a porosidade aberta, a partir da Equação 14.

$$P_a (\%) = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_{ARQ}} \times 10^3 \quad \text{Equação 14}$$

Dado que a saturação dos provetes só é obtida após algumas semanas na câmara (sobre 80cm coluna água), o valor de porosidade aberta só se afigura após esse tempo. Sendo esse tempo excessivo e, uma vez que, o valor de porosidade é uma característica importante dos produtos, realizou-se o cálculo da porosidade aberta para os valores obtidos após 1 semana de ensaio. Os resultados estão apresentados na Tabela XIII e Figura 25.

Tabela XIII – Porosidade aberta (%) das quatro argamassas testadas.

	Porosidade Aberta (%)					
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	n° amostras
PC	33,35	1,58	4,75	30,93	36,27	12
RD	22,17	0,90	4,07	20,61	23,29	12
RC	26,99	1,12	4,14	25,69	29,61	12
RT	44,07	3,97	9,01	38,35	50,77	12

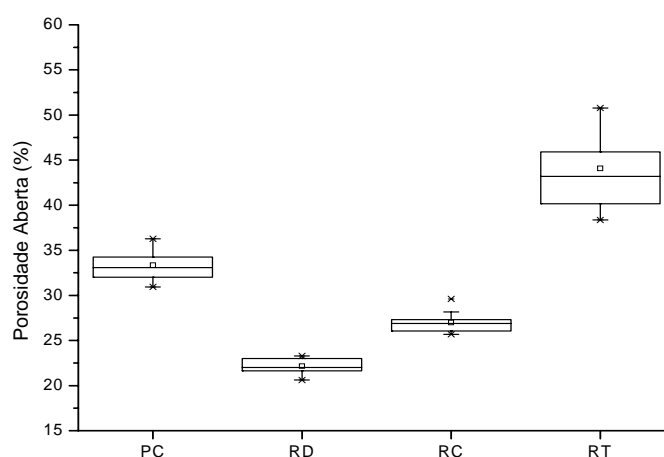


Figura 25 – Valores de Porosidade Aberta, após 1 semana de ensaio, para as quatro argamassas testadas.

Os resultados obtidos distinguem as argamassas testadas. A RT é a que apresenta uma maior porosidade (38,35-50,77%), seguida da PC (30,93-36,27%) e da RC (25,69-29,61%). A RD é a que apresenta uma menor porosidade (20,61-23,29%).

Pela literatura, conhecem-se os efeitos que as condições de aplicação (fracção de água adicionada, compacidade aplicada, tempo de mistura, tempo de repouso) têm sobre a porosidade das argamassas e, portanto, admite-se que possam ocorrer desvios nesta propriedade aquando a identificação do produto. Neste estudo obtiveram-se coeficientes de variação baixos, relativos às heterogeneidades das argamassas. As diferentes condições de cura a que as amostras foram sujeitas não parecem impor nenhum efeito na porosidade (Figura 26).

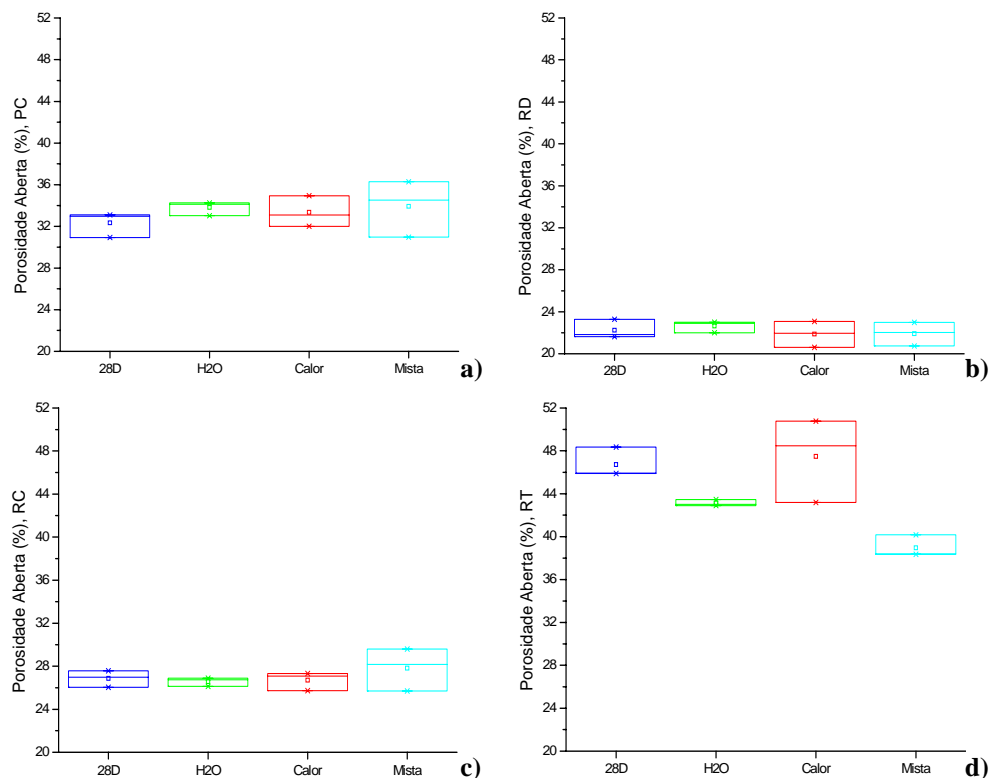


Figura 26 – Valores da porosidade aberta (%) em função da condição de cura, para as quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.

III. 2.2.5 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade é um ensaio não destrutivo e, como tal, um dos primeiros a testar na sequência metodológica de análise.

As amostras resultaram do ensaio de aderência e do corte de placas (30^x30cm) em paralelepípedos com dimensões aproximadas de 4^x4cm. Utilizou-se uma lixa para regularizar a superfície das amostras e minimizar a influência da rugosidade/topografia da superfície na absorção de água por capilaridade.

Dada a diferença de dimensões e geometria, entre os provetes usados e os referenciados pelo método ME.LB.015 (norma EN1015-18), procurou aferir-se qual a forma de cálculo que melhor traduz a capacidade de absorção de água por capilaridade:

- i. De acordo com Equação 15, que define o índice de capilaridade, ou pelo cálculo que considera o índice de capilaridade como a diferença de massa após 90 minutos e 10 minutos de teste, referenciada na EN1015-18, para provetes 4^x4^x16cm.

$$\frac{(m_i - m_s)}{A} = C\sqrt{t_i}$$

Equação 15

Uma vez que a espessura da amostra é reduzida (entre 1 a 2cm), a divergência no cálculo do índice de capilaridade pelos dois métodos resulta do facto de as amostras com maior índice de absorção capilar poderem findar a região linear antes dos 90 minutos e, portanto, o valor da diferença de massas não traduzir o índice de capilaridade. A Figura 27 representa os valores obtidos para uma amostra de *w.rev.classic* (cura inicial) e nela verifica-se que ao fim de 90 minutos já se atingiu equilíbrio na variação de massa. Usando a diferença de massas, obtém-se um índice de capilaridade de $2,72\text{g}/\text{min}^{0,5}\text{dm}^2$, significativamente diferente do valor obtido por aplicação da Equação 15 (de $4,65\text{g}/\text{min}^{0,5}\text{dm}^2$).

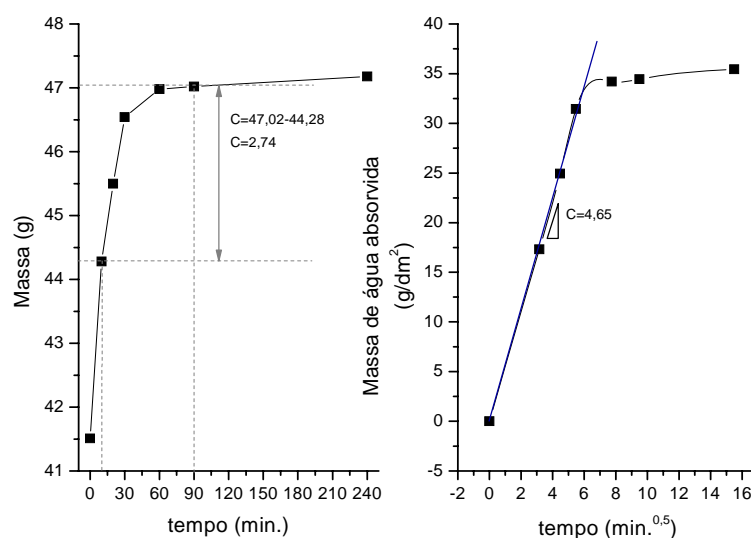


Figura 27 – Representação gráfica da evolução de massa por absorção de água por capilaridade de uma amostra de *w.rev.classic* (cura inicial).

Realizaram-se ensaios de capilaridade para os quatro tipos de argamassa e diferentes condições de cura, estimando o índice pela equação referida. Dado que o índice de absorção de água por capilaridade se obtém através de uma regressão linear foram estabelecidos dois critérios para a validação dos resultados: só se consideraram os valores das regressões constituídas por quatro ou mais pontos e com coeficiente de correlação superior a 0,75. Os resultados obtidos estão representados na Tabela XIV e Figura 28.

Tabela XIV – Valores do índice de capilaridade das quatro argamassas de reboco.

	Índice de capilaridade ($\text{g}/\text{min}^{0,5}\text{dm}^2$)					
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	nº amostras
PC	0,44	0,26	59,61	0,02	1,02	107
RD	0,81	0,31	38,12	0,07	1,56	98
RC	4,05	1,05	25,95	0,19	5,47	77
RT	1,81	0,87	47,73	0,02	3,76	101

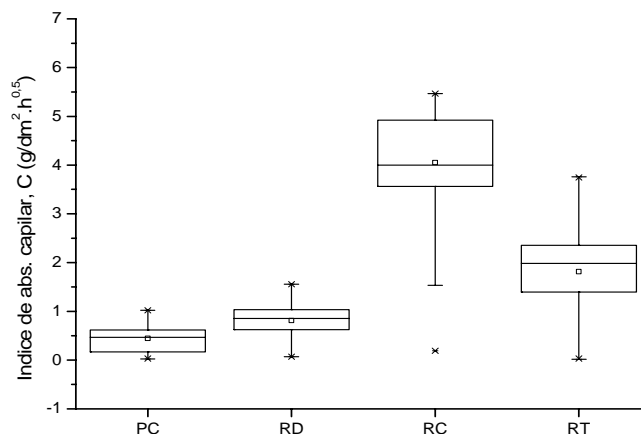


Figura 28 – Valores de índice de capilaridade, para as quatro argamassas de reboco.

Os resultados obtidos traduzem uma grande dispersão, com coeficientes de variação entre 25.95% (do *w.rev.classic*) e 59.61% (do *w.pral.classic*). Estes desvios traduzem as heterogeneidades próprias dos produtos, o efeito das diferentes condições de cura e também do próprio método.

- ii. Uma vez que os coeficientes de variação são elevados no método i. procurou-se avaliar se o tratamento de dados adoptado seria responsável por parte dessa oscilação, já que a absorção por capilaridade ocorre nos primeiros minutos e a recolha de dados nesse tempo é limitada, daí o estreito número de pontos e, também por ser, só por si, uma aproximação.

Deste modo, optou-se por considerar a quantidade de água absorvida ao fim de determinado tempo, por unidade de área. O tempo seleccionado teria de ser suficiente para garantir a estabilização do processo de absorção por capilaridade, mas não deverá ser elevado, ao ponto de permitir que a espessura da amostra condicione o processo, ou seja que se atinja a zona de estabilização de massa. Para perceber qual o valor de tempo razoável, traçaram-se as curvas de massa absorvida

de água, em função do tempo (Figura 29) para o *w.rev.classic*, já que é o produto que apresenta maior absorção de água por capilaridade.

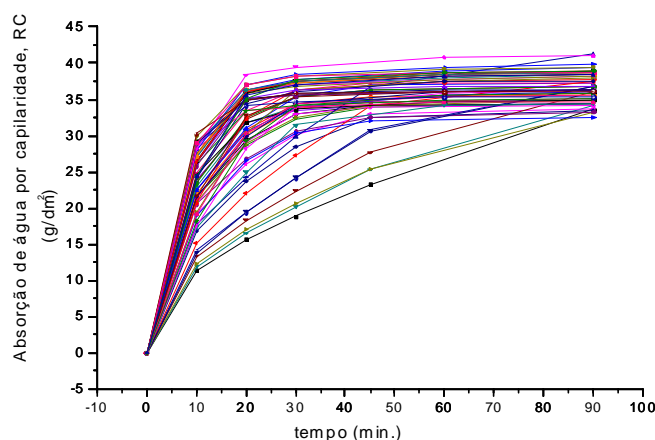


Figura 29 – Curvas de absorção de água por capilaridade em função do tempo, para as amostras de RC.

Analisado a figura constata-se que o tempo de 30 minutos parece adequado em todos os ensaios.

Considerando então o valor de massa de água absorvida, por unidade de área, ao fim de 30 minutos, efectuou-se um tratamento estatístico, à semelhança de i. (Tabela XV e Figura 30).

Tabela XV – Resultados obtidos da absorção de água por capilaridade (g/dm^2).

Absorção de água por capilaridade, aos 30 min. (g/dm^2)						
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	n° amostras
PC	4,25	2,02	47,50	0,35	8,25	80
RD	7,62	1,89	24,76	3,72	12,07	81
RC	33,56	4,74	14,13	18,89	39,44	60
RT	16,72	4,92	29,42	8,09	28,68	75

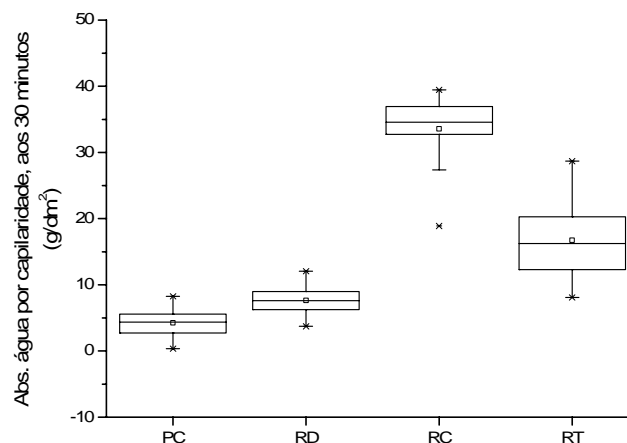


Figura 30 – Valores de absorção de água por capilaridade, ao fim de 30 minutos, para as argamassas de revestimento.

iii. Outra hipótese seria considerar os valores correspondentes a uma fase de estabilização de massa, estimando a massa absorvida por unidade de volume (considerando a espessura dos provetes) ao fim de determinado tempo de ensaio. Esse método seria moroso, já que, com exceção da argamassa *w.rev classic*, todas as outras só estabilizam ao fim de alguns dias.

Da análise comparativa de resultados das Tabela XIV e Tabela XV é possível verificar que na segunda abordagem considerada (ii.), os coeficientes de variação são significativamente menores para as quatro argamassas. Deste modo, confirma-se uma influência significativa na utilização da regressão linear como fonte de dispersão de resultados, e sugere-se a adopção da segunda forma.

Analisando os resultados, verifica-se que as gamas de valores de algumas argamassas intersectam os valores de outras. Não obstante, diferencia-se o *w.rev classic* do *w.pral classic* e *w.rev dur* por apresentar um valor mínimo de absorção ($18,89\text{g/dm}^2$) superior aos máximos destes dois últimos ($8,25\text{g/dm}^2$ e $12,07\text{g/dm}^2$, respectivamente). E distingue-se o *w.rev classic* do *w.revtraditon* para valores entre $28,68$ e $39,44\text{g/dm}^2$

A dispersão de resultados resulta de diversos factores:

- + Efeito do tempo de cura. Pela Tabela XVI verifica-se que a absorção de água das amostras é condicionada pelo processo de cura a que estas foram sujeitas. Quando comparado com a cura inicial, a cura em água apresenta médias de absorção de água inferiores, mas a cura ao calor já origina médias superiores; só o produto *w.rev.dur* revela valores independentes das condições de cura consideradas (Figura 31).

Tabela XVI – Valores de absorção de água por capilaridade (g/dm^2) ao fim de 30 minutos das argamassas sujeitas a condições de cura.

Absorção de água por capilaridade, aos 30 minutos (g/dm^2)							
		Média	Coefficiente de Variação (%)	Variação relativa à cura 28D (%)	Mínimo	Máximo	nº amostras
PC	28Dias	3,92	30,65	-	1,64	5,91	29
	H ₂ O	2,45	75,36	-37,50	0,35	7,16	22
	Calor	5,96	22,79	52,04	3,38	8,25	29
RD	28Dias	7,67	24,14	-	3,72	10,36	29
	H ₂ O	7,52	29,09	-1,96	4,01	12,07	23
	Calor	7,66	22,55	-0,13	4,05	11,01	29
RC	28Dias	34,40	4,11	-	31,46	36,37	10
	H ₂ O	29,99	17,70	-12,82	18,89	36,42	25
	Calor	36,80	3,64	6,98	34,00	39,44	25
RT	28Dias	15,24	23,91	-	8,09	21,72	25
	H ₂ O	13,95	21,73	-8,46	10,58	20,83	25
	Calor	20,47	23,23	34,32	12,68	28,68	25

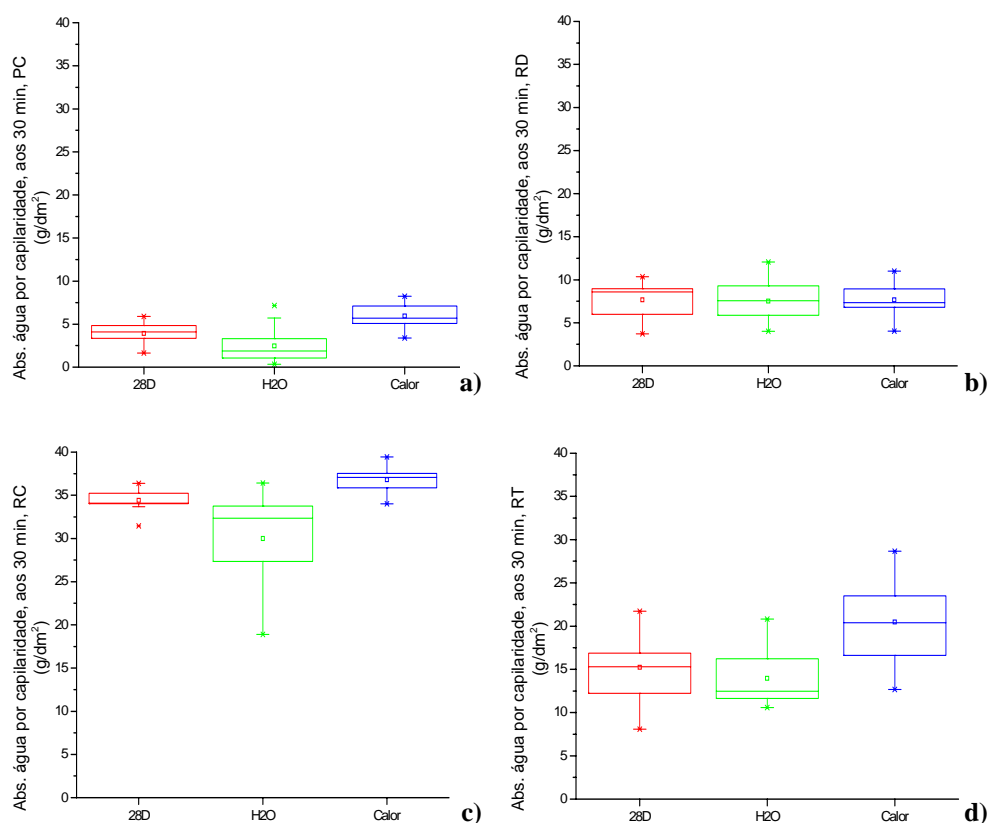


Figura 31 – Valores de absorção de água por capilaridade (g/dm^2) ao fim de 30 minutos em função da condição de cura das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.

Estas diferenças podem resultar do facto das amostras não terem sido secas previamente. Os provetes após o tempo de cura permaneceram

algumas semanas a 50%HR e 22°C, até corte e realização do ensaio. Esta situação pode não ter assegurado uma humidade interna semelhante para todos os provetes, ficando os curados em H₂O com uma humidade superior e, portanto, menos aptos para absorver água por capilaridade.

- + Heterogeneidades das amostras. Analisou-se os valores de capilaridade das argamassas, obtidos pelo controlo de qualidade durante dois anos, segundo as especificações da norma EN 1015, e verificou-se que existem coeficientes de variação (PC - 26%, RD - 38%, RC - 15% e RT - 25%) da mesma ordem das encontradas neste trabalho, para cada cura analisada (valores médios: PC- 43%, RD - 25%, RC - 8% e RT - 23%). Portanto, as variações de valores de absorção de água por capilaridade desta grandeza são características dos materiais e inerentes às heterogeneidades.

Outros factores que poderão induzir desvios nos valores identificativos de determinados produto são:

- a) o tempo de serviço do produto que poderá originar diferentes níveis de carbonatação, que condicionem a absorção por capilaridade;
- b) ineficiência do agente hidrófugo, por exemplo, os estereatos de zinco e de cálcio diminuem a resistência à água quando expostos a chuva forte e frequente [16];
- c) diferentes condições de aplicação (fracção de água adicionada, tempo de mistura, tempo de repouso) que condicionem a porosidade do material.

III. 2.2.6 Resistência à compressão

No ensaio de resistência à compressão utilizaram-se os provetes previamente testados nos ensaios de absorção de água por capilaridade: paralelepípedos, com 4±1cm de lado e espessura de 1 a 2cm.

Os provetes foram ensaiados na vertical, como mostra a Figura 32. Alternativamente, a medição poderá ser feita horizontalmente. Porém, os resultados obtidos poderão ser muito influenciados pela menor espessura dos provetes (1 a 2cm), já

que o valor medido pode corresponder, não à amostra em estudo, mas aos apoios necessários para a execução de um teste deste tipo. Alguns trabalhos bibliográficos estabelecem curvas de correlação para estes casos, mas para betões [32]. Esta poderá ser uma hipótese alternativa de medição desta propriedade, mas não foi abordada no presente trabalho, uma vez que exige, igualmente, uma perícia adicional do operador, na interpretação de ruptura do material.



Figura 32 – Imagem da amostra ensaiada em compressão.

Foram realizados ensaios com as quatro argamassas, nas quatro condições de cura. Os resultados estão apresentados na Tabela XVII e Figura 33.

Tabela XVII – Resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas, nas quatro condições de cura.

	Tensão de ruptura (MPa)					
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	n° amostras
PC	3,95	0,82	20,72	2,22	5,94	80
RD	4,46	0,95	21,32	2,66	6,50	82
RC	2,54	0,59	23,13	1,17	3,75	86
RT	1,81	0,46	25,34	0,71	2,79	75

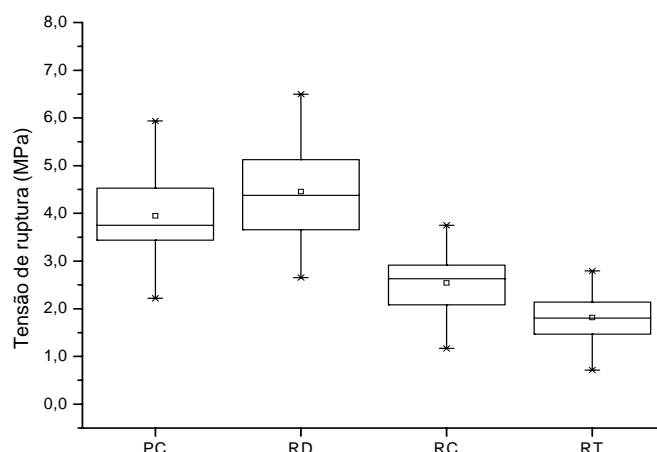


Figura 33 – Valores de tensão de ruptura (MPa) por compressão das argamassas, nas quatro condições de cura.

À semelhança do que se constatou no ensaio de absorção de água por capilaridade, os valores de resistência mecânica não são suficientemente distintos para permitirem identificar, só por si, inequivocamente cada um dos materiais. A distinção possível de efectuar associa-se a *w.rev dur*, para valores entre os 5,94MPa e 6,50MPa e a *w.rev tradition*, para valores entre 0,714MPa e 1,17MPa.

A dispersão de resultados resulta das heterogeneidades das amostras e, das condições de cura. Pela Figura 34 e Tabela XVIII é possível verificar o efeito da exposição ao calor e à água das argamassas na resistência à compressão.

Tabela XVIII – Valores do módulo de ruptura à compressão, das quatro argamassas curadas em condições distintas.

		Tensão de ruptura (MPa)					
		Média	Coefficiente de Variação (%)	Variação relativamente à cura a 28Dias (%)	Mínimo	Máximo	nº amostras
PC	28Dias	4,58	16,18	-	3,38	5,94	29
	H ₂ O	3,94	13,84	-13.97	2,92	5,00	22
	Calor	3,33	16,46	-27.29	2,22	4,58	29
RD	28Dias	5,24	12,93	-	4,22	6,50	29
	H ₂ O	4,64	12,98	-11.45	3,44	5,95	24
	Calor	3,56	15,52	-32.06	2,66	4,67	29
RC	28Dias	2,47	25,64	-	1,17	3,70	25
	H ₂ O	2,90	16,44	17.41	1,97	3,75	25
	Calor	2,45	23,74	-0.81	1,25	3,61	25
RT	28Dias	1,68	27,40	-	0,71	2,32	25
	H ₂ O	2,07	22,90	23.21	1,09	2,79	25
	Calor	1,69	20,00	0.59	1,18	2,34	25

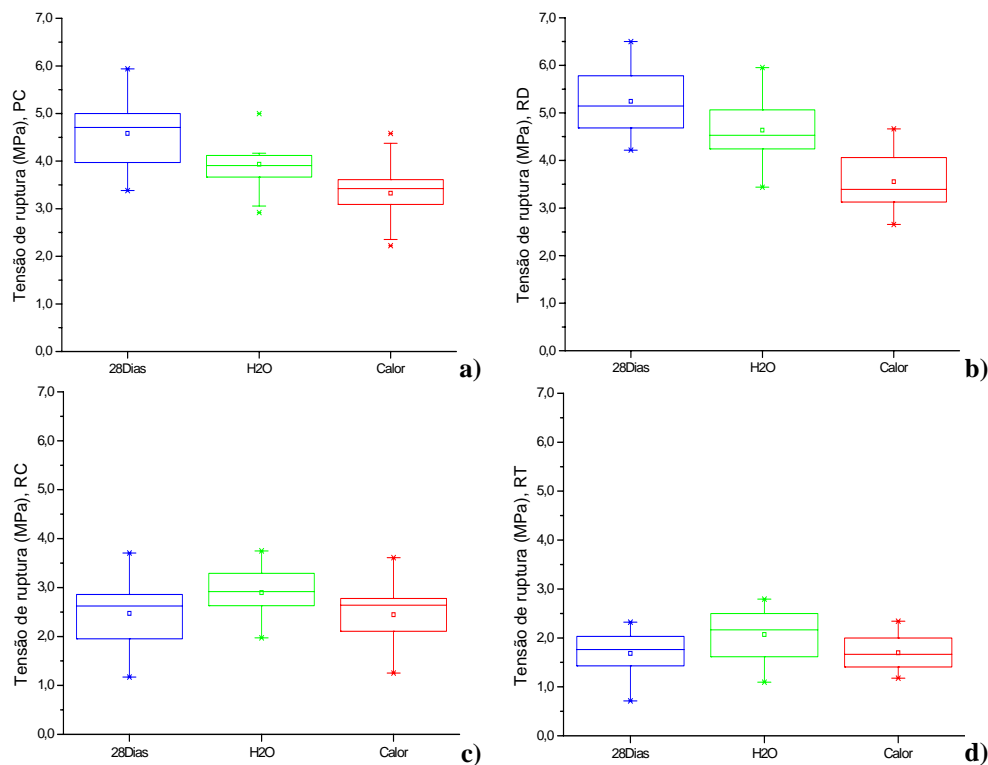


Figura 34 – Valores de tensão de ruptura em função da condição de cura, das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.

São visíveis as diferenças nos valores de resistência à compressão de amostras curadas em condições distintas. As amostras de *w.pral classic* e o *w.rev dur* são as que apresentaram maiores oscilações quando expostas à acção do calor, relativamente à cura inicial, com decréscimos de 27% e 32%, respectivamente. Por outro lado, as amostras de *w.rev classic* e o *w.rev tradition* apresentaram variações com cura ao calor inferiores a 1%.

As heterogeneidades das argamassas também contribuem para a oscilação de valores. As dispersões de valores de resistência mecânica, para amostras preparadas e ensaiadas segundo a norma EN 1015 são de 17% para a PC, 15% para a RD, 13% para o RC e 28% para o RT (valores obtidos pela análise de Controlo de Qualidade durante dois anos). Estes dados são semelhantes aos obtidos para cada produto e condição de cura (Tabela XVIII), neste ensaio, o que sugere que a disparidade de resultados encontrada está associada às próprias argamassas.

O uso do valor de tensão de ruptura para identificação de um determinado produto terá de ter em consideração as condições que o material esteve sujeito e, também, a influência das condições de aplicação (adição de água e compacidade exercido na aplicação).

III. 2.2.7 Perda de massa por calcinação

Efectuaram-se calcinações a 500°C e 900°C, à semelhança dos ensaios realizados às argamassas-cola (capítulo III. 1.2.3).

i. Perda de massa por calcinação a 500°C

Os valores de perda de massa por calcinação a 500°C estão apresentados na Tabela XIX e Figura 35.

Tabela XIX – Perda de massa por calcinação a 500°C das argamassas de revestimento.

Perda de massa por calcinação a 500°C (%)						
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	n° amostras
PC	3,05	0,26	8,53	2,34	3,31	14
RD	2,55	0,32	12,41	2,05	2,94	12
RC	2,01	0,34	16,71	1,51	2,60	18
RT	2,43	0,39	16,20	1,95	3,21	9

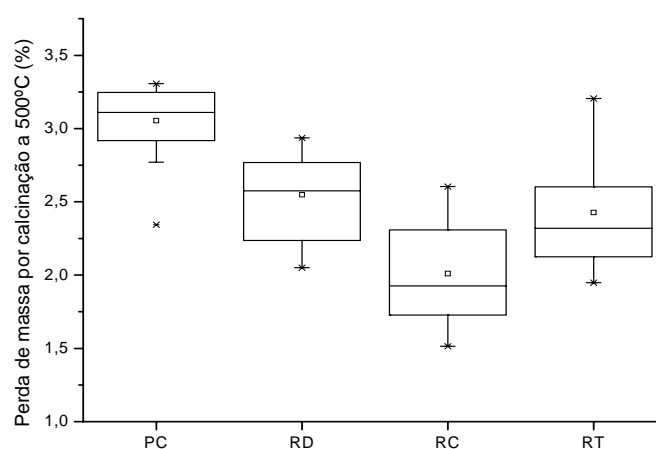


Figura 35 – Valores de perda de massa por calcinação a 500°C das argamassas de revestimento.

Através deste ensaio distingue-se o *w.pral classic* para valores de perda de massa por calcinação entre 3,21% e 3,31% e o *w.rev classic* para valores entre 1,51% e 1,95%.

Na Figura 36 apresentam-se os valores de perda de massa por calcinação a 500°C para as diferentes condições de cura. As condições de exposição não aparentam influir sobre a dispersão de resultados, já que os valores obtidos inserem-se na mesma gama.

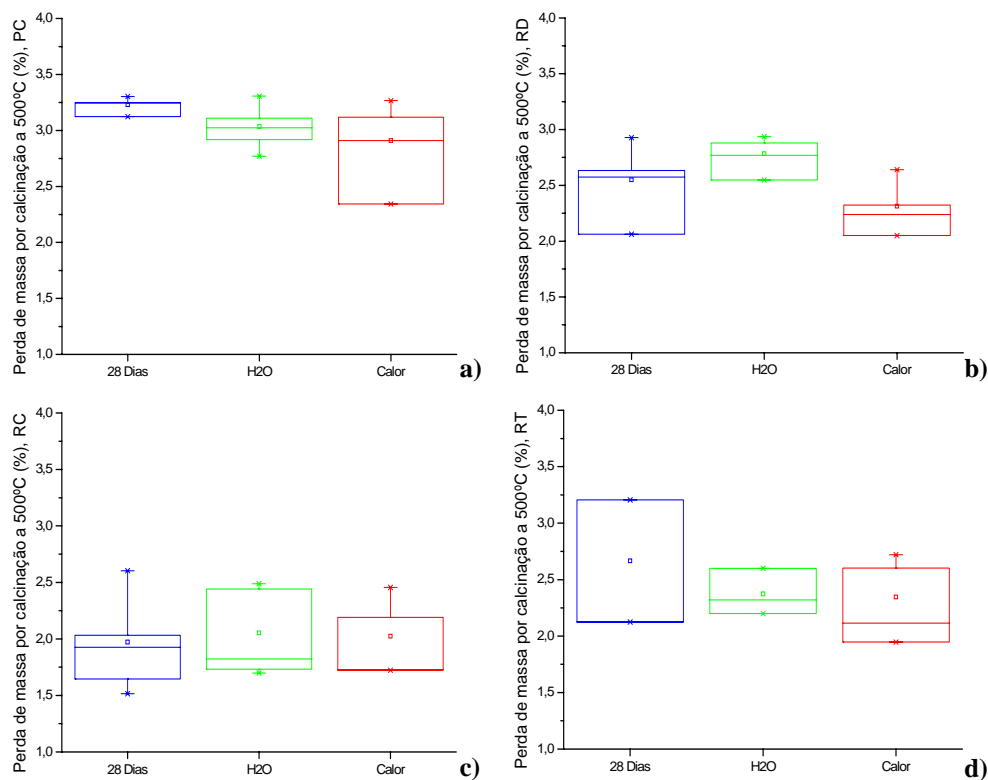


Figura 36 – Valores de perda de massa por calcinação a 500°C em função da condição de cura, das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.

ii. Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C

Os valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C estão apresentados na Tabela XX e Figura 37.

Tabela XX – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C das argamassas de revestimento.

Perda de massa por calcinação a 500°C (%)						
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo	n° amostras
PC	18,44	0,58	3,13	17,49	19,38	10
RD	11,50	0,86	7,51	10,68	13,20	12
RC	12,71	0,67	5,25	11,26	14,17	18
RT	18,15	0,49	2,69	17,34	18,86	9

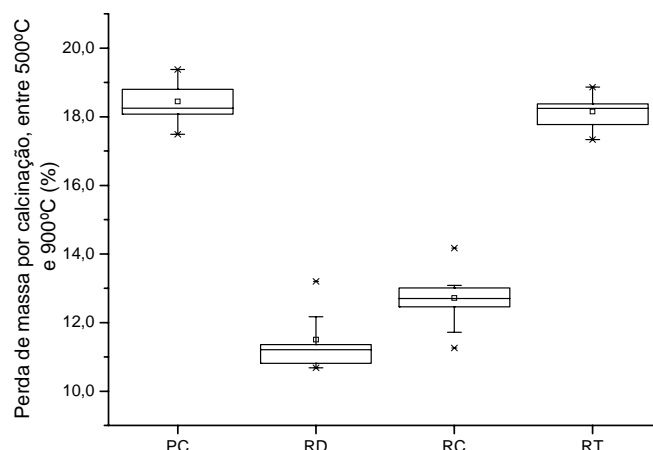


Figura 37 – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C das argamassas de revestimento.

A calcinação a 900°C distingue as argamassas em dois grupos, um composto pela RD e RC com perdas de massa entre os 10 e 14%, e o outro com perdas de massa entre os 17 e 20%, do qual fazem parte a PC e RT. Estes últimos produtos têm na sua constituição uma maior fracção de cargas carbonatadas, que os distinguem pela perda de massa superior, devido à libertação de CO₂. Mais uma vez, as condições de cura parecem não influenciar significativamente os resultados, na generalidade dos casos (Figura 38).

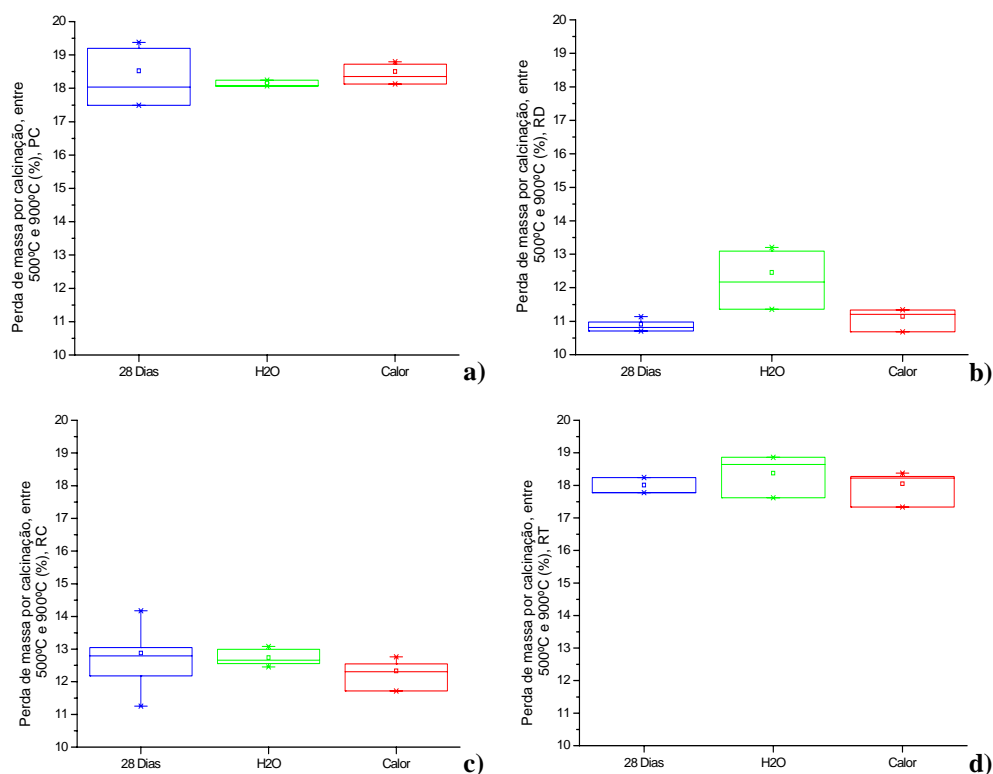


Figura 38 – Valores de perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C, em função da condição de cura, das quatro argamassas: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.

III. 2.2.8 Análise granulométrica

A análise granulométrica das argamassas de revestimento foi efectuada ao material proveniente da calcinação a 900°C, à semelhança das argamassas-cola. Os resultados são apresentados na Tabela XXI e Figura 39.

Tabela XXI – Distribuição de tamanho de partículas das argamassas de revestimento, obtida por peneiração.

		Fracção de material retida no peneiro (%)			
Peneiro		PC	RD	RC	RT
1,25	Média	0,0	0,9	0,9	0,1
	Coeficiente de Variação (%)	198,5	28,4	10,9	101,7
	Min	0,0	0,6	0,8	0,0
	Max	0,1	1,2	1,2	0,2
630	Média	2,4	14,3	7,2	2,9
	Coeficiente de Variação (%)	29,3	6,7	2,1	29,8
	Min	1,8	13,5	7,0	2,0
	Max	3,6	16,4	7,6	4,2
315	Média	43,7	38,6	43,6	37,0
	Coeficiente de Variação (%)	4,5	9,5	1,2	7,7
	Min	41,7	34,2	43,0	34,0
	Max	46,6	43,2	44,1	43,6
160	Média	27,1	27,4	28,5	33,7
	Coeficiente de Variação (%)	2,9	9,5	5,8	11,9
	Min	26,0	24,4	27,2	27,6
	Max	27,9	30,1	31,5	37,9
80	Média	10,0	8,6	8,9	9,7
	Coeficiente de Variação (%)	5,3	15,5	7,5	13,0
	Min	9,2	6,9	8,0	7,7
	Max	10,6	10,1	10,0	11,4
Fundo	Média	16,7	10,2	10,9	16,6
	Coeficiente de Variação (%)	8,8	16,6	15,5	32,3
	Min	14,7	6,5	8,0	9,4
	Max	18,1	11,8	12,7	25,3

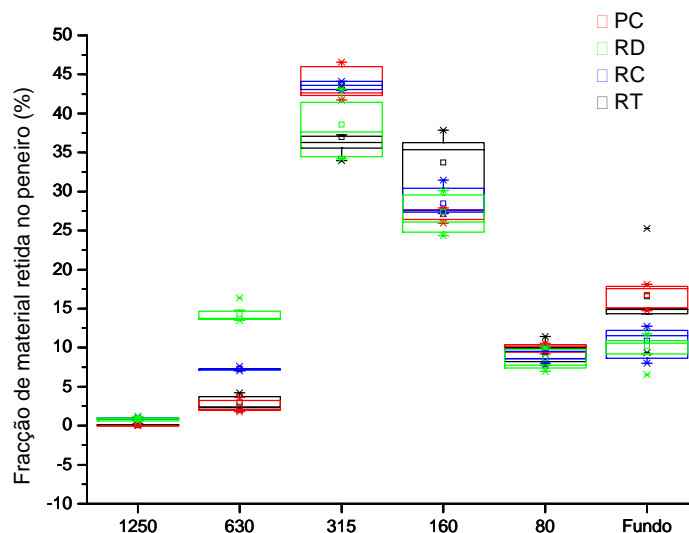


Figura 39 – Valores da fracção de material retida, em cada peneiro, para as quatro argamassas de revestimento.

Os resultados obtidos evidenciam diferenças significativas e distintivas entre as argamassas. Verifica-se que o RD e RC, argamassas visualmente semelhantes, apresentam constituintes com dimensões granulométricas superiores, com fracções mais elevadas de material retido nos peneiros de malha 1,25mm e 630µm. A fracção retida no peneiro de 630µm permite ainda distinguir RD de RC: RD apresenta valores entre 13,5% e 16,4%, enquanto RC apresenta valores entre 7,0% e 7,6%.

Os valores de material retido nos peneiros de malha inferior a 315µm são próximos para as quatro argamassas analisadas, não se anunciando, portanto, um factor decisivo na identificação dos produtos.

Na Figura 40 é visível que as gamas das condições de cura apresentam diferenças mais relevantes, para os peneiros de malha 315µm ou inferior. Nestes casos, o resíduo é constituído por sílica e de grãos de compostos do cimento. Embora haja desagregação entre os grãos durante as calcinações, são esses compostos que influem na dispersão de resultados, já que o desenvolvimento dimensional dos cristais depende fortemente das condições a que foram sujeitos durante a cura.

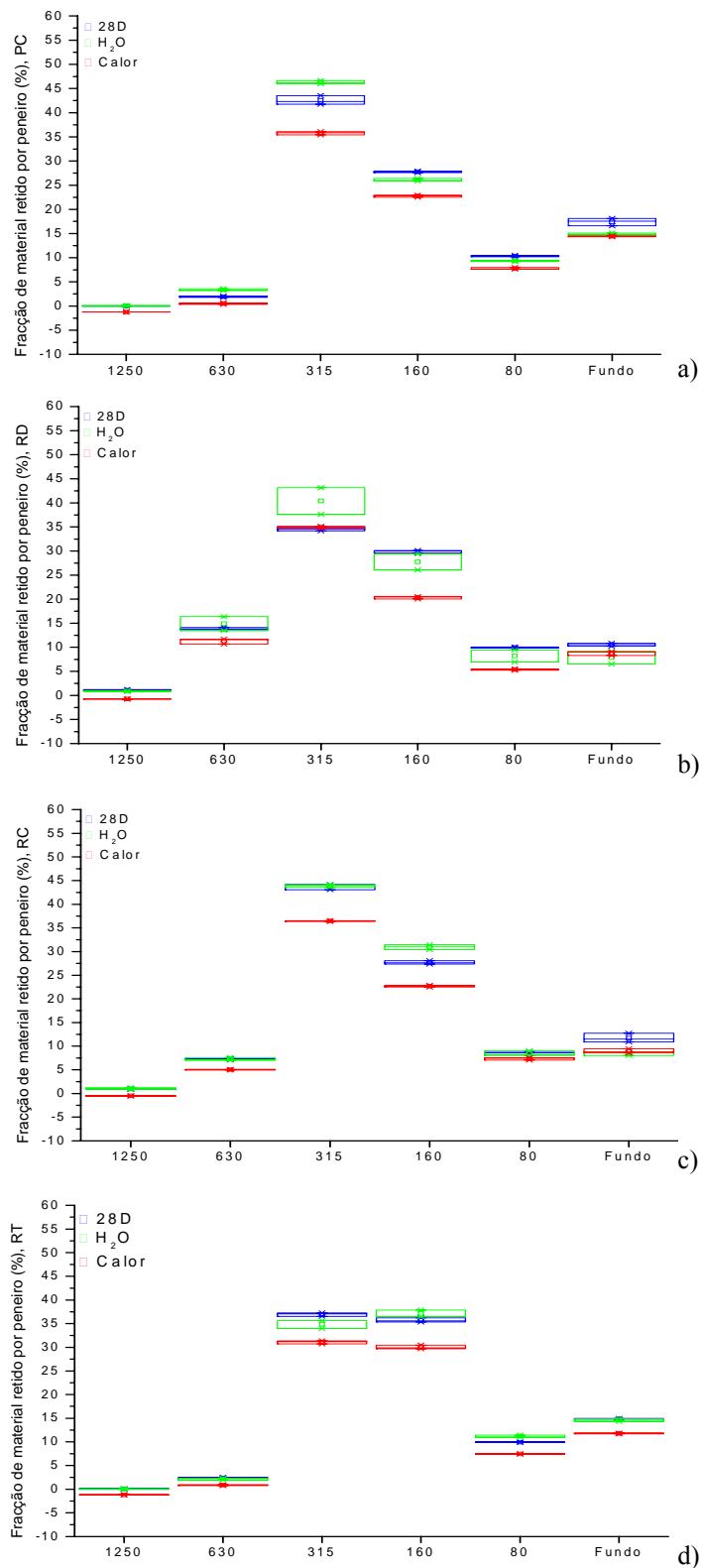


Figura 40 – Valores da fracção de material retida, por peneiro e condição de cura, para as quatro argamassas de revestimento: a) PC; b) RD; c) RC; d) RT.

A análise visual efectuada ao material retido em cada peneiro também evidencia diferenças entre as argamassas. A fracção de material retida no peneiro de malha de 1,25mm é semelhante nas amostras de RC e RD. É constituída por grãos de sílica, de cor bege e vários tons de rosa. Para estas argamassas, a fracção retida no peneiro de malha 630 μ m, é semelhante à retida no peneiro de 1,25mm. O PC apresenta grãos beges de sílica e partículas lamelares prateadas (mica). O RT apresenta grãos brancos de sílica, e partículas esféricas brancas de vidro expandido.

No peneiro de malha 315 μ m ficaram retidas partículas com aspecto semelhante às retidas no peneiro de 630 μ m, mas com quantidades inferiores de mica e vidro expandido, para o PC e RT, respectivamente. Observam-se ainda pequenas quantidades de grãos beges e opacos (sem brilho), derivados dos compostos de cimento e cargas calcárias.

O material retido no peneiro de 160 μ m apresenta um aspecto semelhante ao retido no peneiro de 80 μ m. Ambos os peneiros retiveram partículas de sílica e grãos opacos, derivados dos compostos de cimento e cargas calcárias, estando estes últimos em maior quantidade no peneiro de 80 μ m. A argamassa RT apresenta um resíduo branco, a PC um resíduo bege-camel e a RD e RC um resíduo cinza-acastanhado. Estas cores também são características do resíduo opaco passante (fundo).

A Figura 41 ilustra o resultado da peneiração.













	PC	RD	RC	RT
1,25mm				
630µm				
315µm				
160µm				
80µm				
Fundo				

Figura 41 – Representação fotográfica da fracção de material retida nos peneiros, das argamassas de revestimento.

III. 2.3 Considerações finais

A discussão dos resultados revelou que a identificação de um produto só é possível pela análise conjugada de diferentes propriedades.

As massas volúmicas das argamassas analisadas são próximas e, portanto, admite-se a dificuldade de as distinguir por este parâmetro. Ainda assim, atribuiu-se à argamassa *w.rev dur* valores entre 1,541 g/cm³ e 1,633 g/cm³ enquanto que o material *w.rev tradition* possui valores entre 1,150 g/cm³ e 1,326 g/cm³. A determinação da massa volúmica aparente fornece indicações que aconselham a sua inclusão na metodologia. Por um lado é um ensaio relativamente fácil e rápido de executar; a única dificuldade reside no corte do provete. Por outro lado, pode indiciar a adulteração do material em obra; por exemplo, a introdução de areia provoca aumento de densidade, enquanto que a utilização de cal origina produtos de menor densidade. É ainda um ensaio que origina baixa dispersão de resultados (coeficiente de variação inferior a 10%) face às diferentes condições de cura. No entanto, aquando da análise de produtos recolhidos em obra admitem-se oscilações superiores, resultantes de variações na porosidade do material induzidas pelas condições de aplicação.

O ensaio de absorção de água assegura selectividade e origina reduzida dispersão de resultados, para as quatro argamassas nas diversas condições de cura. No entanto, só se conseguem obter estas informações ao fim de várias semanas, o que é inconveniente numa metodologia que se espera expedita. Deste modo, exclui-se a sua utilização e sugere-se a optimização da forma de avaliação.

A porosidade aberta, determinada após 1 semana de ensaio, é distintiva para todas as argamassas. Considera-se relevante a introdução deste ensaio na metodologia. A análise desta propriedade, de produtos recolhidos em obra, e o possível desvio face às gamas apresentadas tem de ser consciente, uma vez que é fortemente condicionada pelas condições de aplicação.

A utilização do ensaio de capilaridade considera-se relevante nesta metodologia, já que traduz a capacidade de absorção de água do produto, que é condicionada por características como a quantidade e distribuição de tamanhos de poros e o grau de hidrofugação e, portanto, auxilia na compreensão de eventuais patologias e na forma como estas se desenvolvem com a absorção de água. Este ensaio permite ainda diferenciar a

amostra *w.rev classic* das argamassas *w.pral classic* e *w.rev dur*, por apresentar valores superiores de absorção de água por capilaridade, aos 30 minutos. As oscilações verificadas não resultam da alteração efectuada ao método, até porque são semelhantes às obtidas pela aplicação da norma EN 1015. Traduzem antes oscilações características do material.

Os valores de resistência à compressão das argamassas são algo semelhantes, com excepção das amostras *w.rev dur* e *w.rev tradition*. Sugere-se, ainda assim, a inclusão deste ensaio na metodologia, uma vez que é de rápida execução e pode definir o estado de coesão do produto e, deste modo, auxiliar na identificação e interpretação de possíveis patologias. A alteração imposta pela configuração das amostras no método de determinação não influi sobre a variabilidade dos valores obtidos, já que os coeficientes de variação são semelhantes aos obtidos pela norma EN 1015.

A incorporação do ensaio de calcinação nesta metodologia é de significativa importância, na medida em que permite distinguir algumas das argamassas testadas. Os resultados obtidos apresentam um baixo coeficiente de variação. Além disso, esta etapa promove uma adequada desagregação do material, que facilita a subsequente análise granulométrica por peneiração, sem desvirtuar a validade identificativa da mesma.

A análise granulométrica e visual (dimensão, forma e cor das partículas) é também um ensaio de extrema importância. Permite distinguir entre si todas as argamassas testadas. É o ensaio que menos depende das condições de aplicação da argamassa, como seja a compacidade induzida no revestimento, fracção de água adicionada e condições de cura, sobretudo se consideradas as fracções retidas nas malhas de maior abertura.

A figura 35 esquematiza a sequência das operações envolvidas na metodologia proposta. Com base nos valores da Tabela XXII, demonstra-se o grau de distinção que é possível obter.

Deste modo, a amostra de *w.pral classic* distingue-se das de:

- + *w.rev dur*, por ter micas na sua constituição, por ter uma porosidade superior, por apresentar perda de massa superior por calcinação entre 500°C e 900°C e por apresentar menor quantidade relativa de material retido nos peneiros de abertura de malha 1,25mm e 630µm.
- + *w.rev classic*, por não possuir fibras na sua constituição, por ter uma porosidade superior, por apresentar valores inferiores de absorção de água por capilaridade, por apresentar perda de massa superior por calcinação

entre 500°C e 900°C e por apresentar menor quantidade relativa de material retido nos peneiros de abertura de malha de 1,25mm e 630µm.

- + *w.rev tradition*, por apresentar micas na sua composição e não apresentar fibras, por ter uma porosidade inferior, e pela análise da cor e forma das partículas retidas nos peneiros de 1,25mm e 630µm.

Adicionalmente, há outras propriedades permitem distinguir estes produtos, como a absorção de água por capilaridade e a tensão de ruptura. No entanto, alguma intersecção de valores (máximos de um produto semelhantes aos mínimos de outro) coloca a análise destas propriedades apenas como possível complemento de confirmação da avaliação.

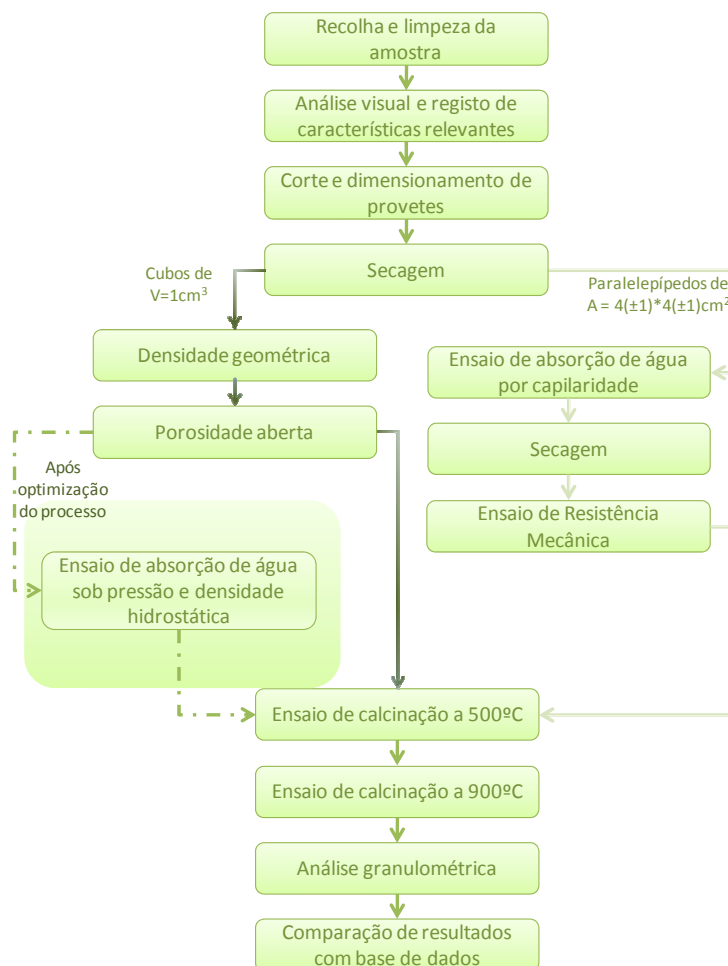


Figura 42 – Fluxograma da metodologia sugerida para argamassas de revestimento.

Tabela XXII – Síntese dos valores obtidos nos ensaios sugeridos na metodologia, para as argamassas de revestimento. (atenção aos códigos)

		PC		RD		RC		RT	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Massa volúmica aparente (g/cm ³)		1,326	1,467	1,538	1,633	1,422	1,541	1,150	1,540
Porosidade aberta (%)		30,93	36,27	20,61	23,29	25,69	29,61	38,35	50,77
Absorção de água por capilaridade, aos 30 min (g/dm ²)		0,35	8,25	3,72	12,07	18,89	39,44	8,09	26,68
Tensão de ruptura (MPa)		2,22	5,94	2,66	6,5	1,17	3,75	0,71	2,79
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		2,34	3,31	2,05	2,94	1,51	2,60	1,95	3,21
Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C (%)		17,49	19,38	10,68	13,20	11,26	14,17	17,34	18,86
Fracção de material retida (%)	1,25mm	0,0	0,1	0,6	1,2	0,8	1,2	0,0	0,2
	630µm	1,8	3,6	13,5	16,4	7,0	7,6	2,0	4,2
	315µm	41,7	46,6	34,2	43,2	43,0	44,1	34,0	43,6
	160µm	26,0	27,9	24,4	30,1	27,2	31,5	27,6	37,9
	80µm	9,2	10,6	6,9	10,1	8,0	10,0	7,7	11,4
	Fundo	14,7	18,1	6,5	11,8	8,0	12,7	9,4	25,3

A argamassa *w.rev dur* distingue-se da:

- + *w.rev classic*, por não apresentar fibras na sua constituição; por ter uma porosidade inferior; por apresentar menor absorção de água por capilaridade; e por possuir maior quantidade relativa de material retida no peneiro de 630µm.
- + *w.rev tradition*, por não apresentar fibras na sua composição; por ter uma porosidade inferior; por apresentar perda de massa inferior por calcinação entre 500°C e 900°C; e por ter maior quantidade relativa de material retido nos peneiros de 1,25mm e 630mm. O valor de tensão de ruptura à compressão poderá auxiliar nesta distinção, embora o valor mínimo obtido para o RD seja semelhante ao valor máximo obtido para o RT.

A argamassa *w.rev classic* diferencia-se da *w.rev tradition* por ter uma porosidade menor, por apresentar perdas de massa inferiores por calcinação entre 500°C e 900°C e maior quantidade relativa de material retido nos peneiros de abertura de malha de 125mm e 630µm.

IV. Verificação da aplicabilidade da metodologia

O capítulo presente apresenta a aplicação da metodologia sugerida a produtos weber e a uma argamassa tradicional e outra industrial de uma empresa concorrente.

IV. 1 Argamassa-cola I

A argamassa-cola I, *w.col classic*, foi recolhida de uma obra, apresentava desprendimento de ladrilhos, em apenas algumas regiões. A patologia estava associada a uma incorrecta aplicação, já que, após destacamento dos azulejos, eram visíveis os cordões de argamassa formados pelo pente da talocha, no tardo da peça cerâmica.

A argamassa chegou ao laboratório contaminada com pedras, lascas de azulejo, entre outras (Figura 43), e procedeu-se a uma peneiração com peneiro de 1,6mm, já que nenhuma das argamassas analisadas neste trabalho apresenta resíduo nesta malha.



Figura 43 – Argamassa-cola I.

Após secagem até massa constante, procedeu-se às calcinações, a 500°C e 900°C, e à análise granulométrica.

Tabela XXIII – Resultados nas análises efectuadas à argamassa-cola I e comparação com as gamas apresentadas.

		w.fix plus		w.col record		w.col flex		w.col classic		I
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		6,26	9,33	8,83	10,82	6,46	11,48	1,79	4,41	3,79
Perda de massa por calcinação entre 500°C e 900°C (%)		22,21	23,52	2,14	6,30	6,62	8,97	3,15	4,67	3,83
Fracção de material retida (%)	1,25mm	-	-	-	-	0,0	0,1	-	-	-
	630µm	-	-	-	-	4,9	7,0	4,2	4,5	1,5
	315µm	0,5	0,6	1,4	1,8	30,9	41,5	47,3	50,1	44,5
	160µm	8,5	11,6	29,9	36,3	24,5	29,8	27,1	29,3	34,7
	80µm	19,8	20,6	21,5	25,0	9,1	11,9	5,8	7,2	8,0
	Fundo	67,2	71,2	40,1	43,5	12,7	27,4	11,1	14,0	11,3

- Gama de valores onde a argamassa analisada se insere;

- Gama de valores próxima ao da argamassa analisada;

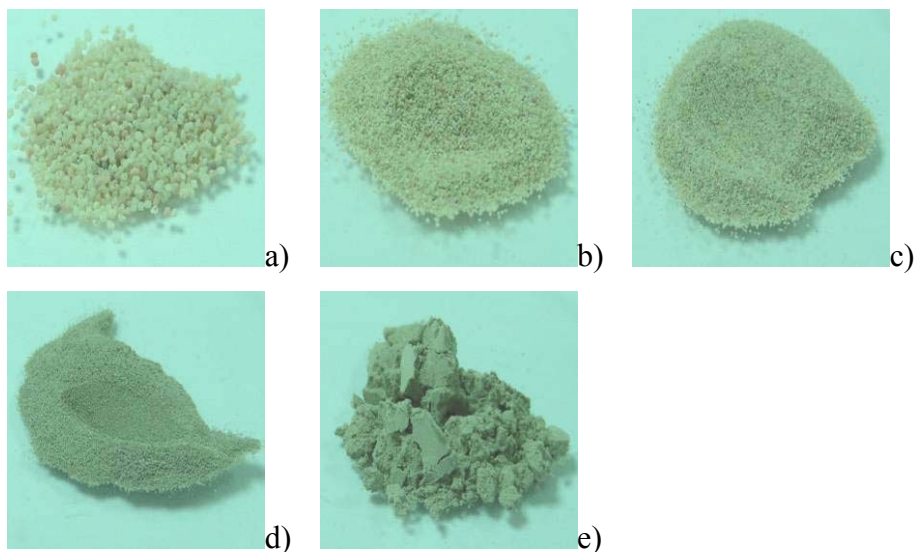


Figura 44 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa-cola I. a)630µm; b)315µm; c) 160µm; d)80µm; e) Fundo.

A metodologia não identificou esta argamassa como uma das analisadas neste trabalho. De facto, os valores de perda de massa por calcinação inserem-se na gama do *w.col classic*, mas os resultados da distribuição granulométrica tornam incerta essa autenticação. Analisado o material retido nos peneiros verificou-se a presença de pequenas lascas de material cerâmico. Admite-se então que a disparidade de resultados de distribuição granulométrica seja relativa à presença desse contaminante e releva-se assim a importância da etapa de recolha e tratamento da amostra, onde se pretende amostras representativas de material.

IV. 2 Argamassa-cola II

A argamassa-cola II, *w.col flex*, foi recolhida após 6 anos de exposição exterior. A patologia associada era desprendimento de ladrilhos, mas estava associada à membrana aplicada e não à argamassa-cola.




Figura 45 – Argamassa-cola II.

A argamassa chegou ao laboratório agregada ao revestimento cerâmico, e foi possível efectuar uma recolha cuidada desta.

Após secagem até massa constante, procedeu-se às calcinações, a 500°C e 900°C, e à análise granulométrica.

Tabela XXIV – Resultados nas análises efectuadas à argamassa-cola II e comparação com as gamas apresentadas.

		w.fix plus		w.col record		w.col flex		w.col classic		II
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		6,26	9,33	8,83	10,82	6,46	11,48	1,79	4,41	9,10
Perda de massa por calcinação entre 500°C e 900°C (%)		22,21	23,52	2,14	6,30	6,62	8,97	3,15	4,67	8,55
Fracção de material retida (%)	1,25mm	-	-	-	-	0,0	0,1	-	-	0,1
	630µm	-	-	-	-	4,9	7,0	4,2	4,5	7,2
	315µm	0,5	0,6	1,4	1,8	30,9	41,5	47,3	50,1	36,5
	160µm	8,5	11,6	29,9	36,3	24,5	29,8	27,1	29,3	33,1
	80µm	19,8	20,6	21,5	25,0	9,1	11,9	5,8	7,2	10,6
	Fundo	67,2	71,2	40,1	43,5	12,7	27,4	11,1	14,0	12,5

 - Gama de valores onde a argamassa analisada se insere;


 - Gama de valores próxima ao da argamassa analisada;



Figura 46 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa-cola II. a) 1,25mm; b) 630µm; c) 315µm; d) 160µm; e) 80µm; f) Fundo.

Verifica-se que mesmo após um elevado tempo de exposição exterior foi possível identificar a argamassa-cola II, como w.col flex, pela similaridade de valores obtidos com as gamas apresentadas na metodologia (Tabela XXIV) e pela semelhança das partículas retidas nos peneiros (Figura 46).

IV. 3 Argamassa de revestimento I

A argamassa de revestimento I, RC, foi retirado da escola de formação do Carregado, nas instalações da weber. Não apresentava patologias, a extracção foi realizada apenas para atestar a metodologia sugerida. O reboco apresentava-se em placas irregulares, que foram cortadas com serra em provetes com forma de paralelepípedos (Figura 47).



Figura 47 – Argamassa de revestimento I. a) antes de corte; b) após corte.

Dimensionaram-se os provetes e foram realizados ensaios propostos pela metodologia. Os aspectos visuais mais relevantes registados, foram: reboco de cor cinza; coesão elevada; fibras incorporadas.

Tabela XXV – Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento I e comparação com as gamas apresentadas.

		PC		RD		RC		RT		I
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Massa volúmica aparente (g/cm ³)		1,326	1,467	1,538	1,633	1,422	1,541	1,150	1,540	1,434
Porosidade aberta (%)		30,93	36,27	20,61	23,29	25,69	29,61	38,35	50,77	25,7
Absorção de água por capilaridade, aos 30 min (g/dm ²)		0,35	8,25	3,72	12,07	18,89	39,44	8,09	26,68	24
Tensão de ruptura (MPa)		2,22	5,94	2,66	6,5	1,17	3,75	0,71	2,79	3,15
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		2,34	3,31	2,05	2,94	1,51	2,60	1,95	3,21	1,75
Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C (%)		17,49	19,38	10,68	13,20	11,26	14,17	17,34	18,86	13,8
Fracção de material retida (%)	1,25mm	0,0	0,1	0,6	1,2	0,8	1,2	0,0	0,2	0,1
	630µm	1,8	3,6	13,5	16,4	7,0	7,6	2,0	4,2	6,8
	315µm	41,7	46,6	34,2	43,2	43,0	44,1	34,0	43,6	33,2
	160µm	26,0	27,9	24,4	30,1	27,2	31,5	27,6	37,9	29,1
	80µm	9,2	10,6	6,9	10,1	8,0	10,0	7,7	11,4	7,5
	Fundo	14,7	18,1	6,5	11,8	8,0	12,7	9,4	25,3	23,3



- Gama de valores onde a argamassa analisada se insere;



- Gama de valores próxima ao da argamassa analisada;



Figura 48 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento I. a) 1,25mm; b)630µm; c)315µm; d) 160µm; e)80µm; f) Fundo.

O conjunto dos resultados obtidos sugere tratar-se do reboco RC, já que os valores obtidos inserem-se, ou aproximam-se das gamas apresentadas.

No peneiro de 1,25mm, verificou-se uma menor quantidade de material retida. Pressupõe-se que este desvio se deve à reduzida quantidade esperada (cerca de 1%) e, portanto, não ser representativa. A fracção de material retida no peneiro de 630µm é constituída essencialmente por grãos de sílica (Figura 48) e, de aspecto semelhante aos observados durante a elaboração da metodologia para o RC (Figura 41).

IV. 4 Argamassa de revestimento II

A argamassa de revestimento II foi recolhida de uma obra, em que a reclamação estava relacionada com o produto de suporte a este reboco (chapisco) devido a falta de aderência ao betão. Tratava-se de um reboco tradicional, que aparentava integridade física: não possuía fissuras, estava coeso e não tinha qualquer patologia associada.


O reboco tradicional apresentava-se em placas irregulares, que foram cortadas com rebarbadora em provetes com forma paralelepípedica (Figura 49). Os aspectos visuais relevantes registados foram: reboco cinza de aparente elevada resistência mecânica.




Figura 49 – Argamassa de revestimento II.

Tabela XXVI - Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento II e comparação com as gamas apresentadas.

		PC		RD		RC		RT		II
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Massa volúmica aparente (g/cm ³)		1,326	1,467	1,538	1,633	1,422	1,541	1,150	1,540	2,125
Porosidade aberta (%)		30,93	36,27	20,61	23,29	25,69	29,61	38,35	50,77	16,85
Absorção de água por capilaridade, aos 30 min (g/dm ²)		0,35	8,25	3,72	12,07	18,89	39,44	8,09	26,68	10,9
Tensão de ruptura (MPa)		2,22	5,94	2,66	6,5	1,17	3,75	0,71	2,79	7,96
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		2,34	3,31	2,05	2,94	1,51	2,60	1,95	3,21	2,3
Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C (%)		17,49	19,38	10,68	13,20	11,26	14,17	17,34	18,86	5,44
Fracção de material retida (%)	1,25mm	0,0	0,1	0,6	1,2	0,8	1,2	0,0	0,1	12,8
	630µm	1,8	3,6	13,5	16,4	7,0	7,6	2,0	6,8	25,0
	315µm	41,7	46,6	34,2	43,2	43,0	44,1	34,0	33,2	28,8
	160µm	26,0	27,9	24,4	30,1	27,2	31,5	27,6	29,1	16,5
	80µm	9,2	10,6	6,9	10,1	8,0	10,0	7,7	7,5	7,9
	Fundo	14,7	18,1	6,5	11,8	8,0	12,7	9,4	23,3	8,9

 - Gama de valores onde a argamassa analisada se insere;

 - Gama de valores próxima ao da argamassa analisada;

Os valores obtidos são distintos dos de qualquer produto analisado neste trabalho, apenas se verifica uma proximidade com a perda de massa por calcinação a 500°C. A quantidade de material retida nos peneiros de 1,25mm e 630µm é bastante superior aos limites máximos encontrados para qualquer argamassa referida. As partículas angulares de sílica também levantam dúvidas sobre a sua origem, já que as utilizadas em argamassas industriais apresentam uma forma ovalizada (Figura 50.a)).

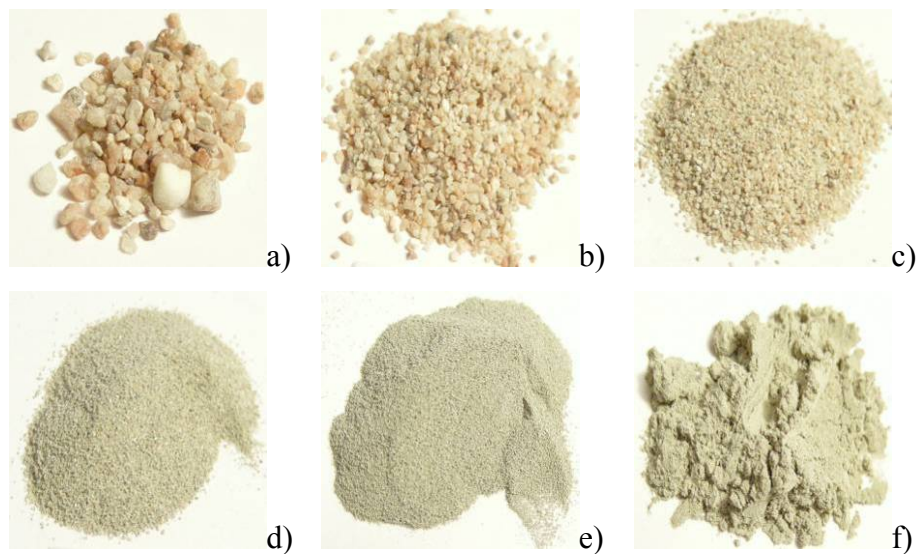


Figura 50 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento II. a) 1,25mm; b) 630µm; c) 315µm; d) 160µm; e) 80µm; f) Fundo.

IV. 5 Argamassa de revestimento III

A argamassa de revestimento III foi recolhida de após 4 anos da aplicação. Tratava-se do PC e apenas lhe estava associada microfissuração.

O reboco foi recolhido a partir dos ensaios de tracção uniaxial perpendicular. Regularizaram-se os provetes e procedeu-se à análise do material. Os aspectos visuais relevantes registados foram: reboco de cor tijolo, com pequenas partículas prateadas e coeso.



Figura 51 – Argamassa de revestimento III.

Tabela XXVII – Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento III e comparação com as gamas apresentadas.

		PC		RD		RC		RT		III
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Massa volúmica aparente (g/cm ³)		1,326	1,467	1,538	1,633	1,422	1,541	1,150	1,540	1,450
Porosidade aberta (%)		30,93	36,27	20,61	23,29	25,69	29,61	38,35	50,77	33,85
Absorção de água por capilaridade, aos 30 min (g/dm ²)		0,35	8,25	3,72	12,07	18,89	39,44	8,09	26,68	6,25
Tensão de ruptura (MPa)		2,22	5,94	2,66	6,5	1,17	3,75	0,71	2,79	4,50
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		2,34	3,31	2,05	2,94	1,51	2,60	1,95	3,21	3,5
Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C (%)		17,49	19,38	10,68	13,20	11,26	14,17	17,34	18,86	17,7
Fracção de material retida (%)	1,25mm	0,0	0,1	0,6	1,2	0,8	1,2	0,0	0,1	0,0
	630µm	1,8	3,6	13,5	16,4	7,0	7,6	2,0	6,8	1,7
	315µm	41,7	46,6	34,2	43,2	43,0	44,1	34,0	33,2	44,5
	160µm	26,0	27,9	24,4	30,1	27,2	31,5	27,6	29,1	32,6
	80µm	9,2	10,6	6,9	10,1	8,0	10,0	7,7	7,5	8,9
	Fundo	14,7	18,1	6,5	11,8	8,0	12,7	9,4	23,3	12,5

Verifica-se a proximidade dos resultados às gamas apresentadas para o PC (Tabela XXVII). Do mesmo modo é possível verificar a semelhança das partículas retidas nos peneiros (Figura 52) com as analisadas durante a elaboração da metodologia (Figura 41), através da presença de partículas lamelares prateadas e ainda da cor e forma das partículas retidas nos peneiros de malha 630µm e 315µm.

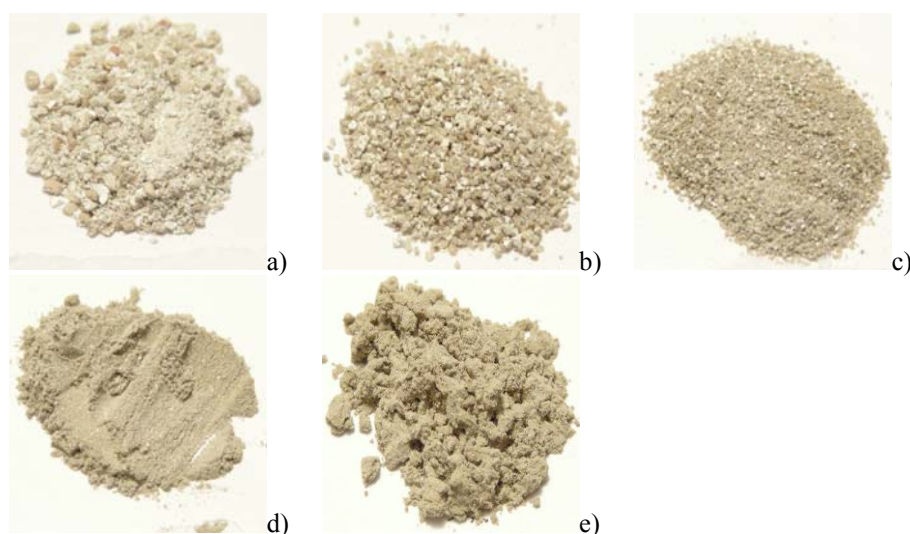



Figura 52 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento III. a) 630µm; b) 315µm; c) 160µm; d) 80µm; e) Fundo.


IV. 6 Argamassa de revestimento IV

A argamassa de revestimento IV foi recolhida de após 3 meses da aplicação. Tratava-se de uma argamassa industrial, de outra marca, Maxit EP. Era um reboco de cor cinza.

Tabela XXVIII – Resultados nas análises efectuadas à argamassa de revestimento III e comparação com as gamas apresentadas.

		PC		RD		RC		RT		III
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Massa volúmica aparente (g/cm ³)		1,326	1,467	1,538	1,633	1,422	1,541	1,150	1,540	1,590
Porosidade aberta (%)		30,93	36,27	20,61	23,29	25,69	29,61	38,35	50,77	-
Absorção de água por capilaridade, aos 30 min (g/dm ²)		0,35	8,25	3,72	12,07	18,89	39,44	8,09	26,68	26,34
Tensão de ruptura (MPa)		2,22	5,94	2,66	6,5	1,17	3,75	0,71	2,79	1,10
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		2,34	3,31	2,05	2,94	1,51	2,60	1,95	3,21	1,72
Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C (%)		17,49	19,38	10,68	13,20	11,26	14,17	17,34	18,86	11,05
Fracção de material retida (%)	1,25mm	0,0	0,1	0,6	1,2	0,8	1,2	0,0	0,1	0,0
	630µm	1,8	3,6	13,5	16,4	7,0	7,6	2,0	6,8	8,9
	315µm	41,7	46,6	34,2	43,2	43,0	44,1	34,0	33,2	49,8
	160µm	26,0	27,9	24,4	30,1	27,2	31,5	27,6	29,1	21,7
	80µm	9,2	10,6	6,9	10,1	8,0	10,0	7,7	7,5	8,8
	Fundo	14,7	18,1	6,5	11,8	8,0	12,7	9,4	23,3	10,9

 - Gama de valores onde a argamassa analisada se insere;

 - Gama de valores próxima ao da argamassa analisada;

O aspecto visual inicial indicava que poderia ser uma argamassa do tipo RC ou RD. No entanto, após a realização dos ensaios excluiu-se a possibilidade de ser RD pela elevada absorção de água por capilaridade, aos 30 minutos, baixa resistência mecânica e perda de massa por calcinação. Alguns dos valores obtidos aproximam-se dos obtidos para o RC, no entanto a análise granulométrica exclui esta argamassa como uma das estudadas. Em termos de distribuição granulométrica, não apresenta resíduo no peneiro de 1,25mm, e apresenta valores superiores nos peneiros de 630µm e 315µm (cerca de 50%). Em termos visuais, os resíduos são bastante distintos dos observados para o RC e RD (ver Figura 41), já que são constituídos por partículas de sílica branca (Figura 53).



Figura 53 – Fotografias do resíduo ao peneiro da argamassa de revestimento IV. a) 630µm; b)315µm; c) 160µm; d)80µm; e) Fundo.

V. Conclusões

A partir dos ensaios obtidos, percebe-se a dificuldade na identificação de produtos recolhidos em obra.

No entanto, a elaboração de uma metodologia apropriada, constituída por uma sequência de ensaios e pela comparação de resultados com uma base de dados, apresenta-se como uma ferramenta com potencial de sucesso na identificação deste tipo de produtos. Este método, porém, limita sempre a sua utilização à base de dados criada, não sendo extensível a produtos não caracterizados à partida.

Relativamente aos produtos weber, a metodologia apresentada e respectiva base de dados, servirão como ponto de partida fiável para a identificação de alguns produtos.

Os valores apresentados, para cada argamassa e ensaio, foram obtidos com base em amostras preparadas em laboratório, com várias condições de cura, que tentam reflectir as condições exteriores de exposição. Sabendo o vasto número de variáveis que condicionam o produto exposto num edifício, como condições de aplicação (*compacidade*, fracção de água adicionada, tempo de mistura e repouso), condições de exposição (condições atmosféricas, tempo de exposição, possibilidade de contaminações), entre outras, admitem-se desvios relativamente às gamas declaradas. Sugere-se, então, a actualização da base de dados referente aos ensaios e produtos, com valores de argamassas aplicadas em obra, sempre que possível, optimizando assim a metodologia.

Dos ensaios realizados salientam-se a calcinação e a análise granulométrica como essenciais na tomada de decisão final na identificação do produto, já que são dos menos condicionados pelas condições de aplicação e exposição. Estes são factores influentes nas propriedades dos rebocos, como porosidade da argamassa. Ora, propriedades analisadas, como a massa volúmica aparente, absorção de água por capilaridade e resistência mecânica estão associadas ao valor de porosidade, e portanto, às condições de aplicação.

As características de absorção de água e massa volúmica aparente (determinada pela pesagem hidrostática), embora fortemente condicionadas pelas condições de aplicação, são importantes na identificação da argamassa e na avaliação do estado patológico destas. A exclusão destes ensaios foi devida ao elevado tempo para os realizar. Este facto não invalida a posterior integração, dos mesmos, na metodologia após uma optimização destes processos.

Finalmente, deixa a recomendação óbvia da necessidade de correcção ao método, mais especificamente à base de dados, sempre que os produtos sofram alterações de formulação.

VI. Referências bibliográficas

- [1] Alvarez, José A., “Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano”, 2º Congresso Nacional de argamassas de construção, Lisboa, 2007.
- [2] Ribeiro, Leonor C., “As argamassas na Antiguidade Greco-Romana: usos, definições e traduções”, 2º Congresso Nacional de argamassas de construção, Lisboa, 2007.
- [3] Nascimento, Raquel V.M., “Caracterização de Argamassas Industriais”, Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos, Universidade de Aveiro, 2006.
- [4] saint-gobain weber Portugal, “Manual de Acolhimento”.
- [5] Decreto-Lei n.º 84/2008
- [6] Decreto-Lei n.º 4/2007
- [7] AveiroDomus, Associação para o desenvolvimento da Casa do Futuro, “Sub-projecto de REVESTIMENTOS: 1º Relatório”, Universidade de Aveiro, 2006.
- [8] Fernandes, Vera, *et al*, “Evaluation of mixing and application process parameters of single-coat mortars”, Cement and Concrete Research, 35, 836-841, 2005.
- [9] Nascimento, Raquel, “Efeitos da adição de cimento numa argamassa industrial”, 1º Congresso Nacional de argamassas de construção, Lisboa, 2005.
- [10] Veiga, M. Rosário, “As argamassas na conservação”, Actas das 1ªs Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das Construções existentes, Universidade de Aveiro, 2003.
- [11] Flores-Colen, Inês, “Técnicas de Diagnóstico e de Manutenção para Remoção de Manchas em Paredes Rebocadas”, 1º Congresso Nacional de argamassas de construção, Lisboa, 2005.
- [12] Veiga, M. Rosário, “Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos”, 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.
- [13] Antunes, Marisa, “Desenvolvimento de fichas de diagnóstico e de intervenção no âmbito da manutenção correctiva num sistema integrado de manutenção de edifícios de habitação”, 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.

[14] Lanzinha, João C. G., “Metodologia de diagnóstico existencial aplicada à reabilitação de edifícios de habitação,” 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.

[15] Lanzinha, João C. G., “Exemplo de aplicação de um método de diagnóstico e intervenção desenvolvido para habitações rurais,” 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.

[16] Flores-Colen, Inês, “Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção preditiva”, Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2008, Documento provisório, .

[17] Adriano, P., et al, “Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria church in Évora”, 11th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Porto, 2007.

[18] Candeias, A.E., *et al*, “Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives.”, Workshop on Chemistry in the Conservation of Cultural Heritage, EU-ARTECH, 2006

[19] Nakakura, E.H., *et al*, “Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento”. São Paulo, Brasil, 2004.

[20] Thomson, M.L., *et al*, “Porosity of historic mortars”, Proc. 13th International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam, 2004.

[21] Wieloch, M., et al, “The effects of pore structure of air-entrained cement-based mortars on freezing and thawing deterioration”, PRoBE – Proc. Second Scottish Conference for Postgraduate Researchers in the Build and Naturl Envionment, Glasgow, Scotland, 2005.

[22] Tan, K., et al, “Ultrasonic evaluation of cement adhesion in wall tiles”, Cement and Concrete Composites, 18, 119-124, 1996.

[23] Bauer, E., “Resistencia à penetração da chuva em fachadas de alveneria de materiais cerâmicos – uma análise de desempenho”, Universidade Ferederal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 1987.

- [24] Lindqvist, Jan E., “Analysis of mortars with additives”, NT Technical Report, 2006.
- [25] Alvarez, J.I., “Methodology and validation of a hot hydrochloric acid attack for the characterization of ancient mortars”, Cement and Concrete Research, 29, 1061–1065, 1999.
- [26] Illston, J. M.; et al, “Construction materials: their nature and behaviour. 3.^a ed. London: Spon Press, 2001.
- [27] Ribeiro, R.A.S., “Argamassas de Reabilitação – Caracterização de ligantes e inertes”. Relatório de estágio, Universidade de Aveiro, 2005.
- [28] Gaspar, Pedro L., et al, “Patologias em construções recentes”, 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.
- [29] Flores-Colen, Inês, et al, “Anomalias em fachadas de edifícios correntes”, 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.
- [30] Machado, Nuno M., et al, “Patologias observadas em 13 conjuntos habitacionais de um programa PER”, 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.
- [31] Alves, Adelino, et al, “Patologia inerente aos revestimentos exteriores com placas de pedra natural – Anomalias associadas e Recomendações para as evitar”, 1º encontro nacional sobre Patologia e reabilitação de edifícios, Porto, 2003.
- [32] Coutinho, A.S., “Fabrico e Propriedades do Betão”, Volume I, LNEC, Lisboa, 1988.

VII. Anexos

Anexo I – Ensaios Adicionais

Massa volúmica aparente (por pesagem hidrostática):

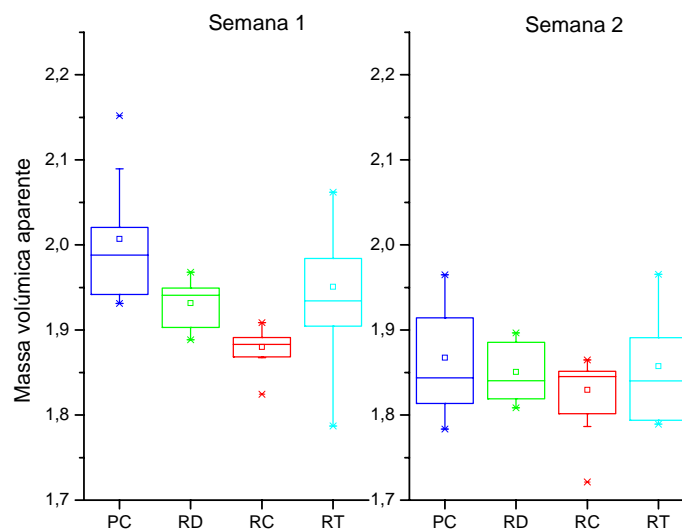


Figura 54 – Valores de massa volúmica aparente, determinados por pesagem hidrostática, das quatro argamassas consideradas.

Tabela XXIX – Massa volúmica aparente (determinada por pesagem hidrostática) após 1 semana de ensaio, para as quatro argamassas e diferentes condições de cura.

Massa volúmica aparente, após 1 semana de ensaio					
		Média	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
PC	28Dias	1,98	2,01	1,94	2,02
	H ₂ O	2,11	1,71	2,09	2,15
	Calor	1,98	1,07	1,95	1,99
	Mista	1,96	2,20	1,93	2,01
RD	28Dias	1,93	1,74	1,89	1,95
	H ₂ O	1,94	0,18	1,94	1,94
	Calor	1,95	1,34	1,92	1,97
	Mista	1,91	1,66	1,89	1,95
RC	28Dias	1,89	1,01	1,87	1,91
	H ₂ O	1,89	0,48	1,88	1,90
	Calor	1,88	0,58	1,87	1,89
	Mista	1,86	1,99	1,82	1,90
RT	28Dias	1,98	2,01	1,94	2,02
	H ₂ O	2,11	1,71	2,09	2,15
	Calor	1,98	1,07	1,95	1,99
	Mista	1,96	2,20	1,93	2,01

Tabela XXX – Massa volúmica aparente (determinada por pesagem hidrostática) após 2 semanas de ensaio, para as quatro argamassas e diferentes condições de cura.

Massa volúmica aparente, após 2 semana de ensaio					
		Média	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
PC	28Dias	1,86	2,90	1,81	1,92
	H ₂ O	1,94	1,30	1,91	1,96
	Calor	1,84	3,30	1,78	1,91
	Mista	1,83	1,33	1,80	1,85
RD	28Dias	1,83	0,60	1,82	1,84
	H ₂ O	1,87	1,39	1,84	1,89
	Calor	1,88	1,46	1,85	1,90
	Mista	1,82	0,97	1,81	1,84
RC	28Dias	1,80	3,96	1,72	1,85
	H ₂ O	1,85	0,52	1,85	1,86
	Calor	1,85	0,75	1,83	1,86
	Mista	1,81	1,69	1,79	1,85
RT	28Dias	1,80	1,06	1,79	1,82
	H ₂ O	1,94	1,94	1,90	1,97
	Calor	1,82	2,21	1,79	1,86
	Mista	1,87	1,40	1,84	1,89

Análise granulométrica para argamassas de revestimento:

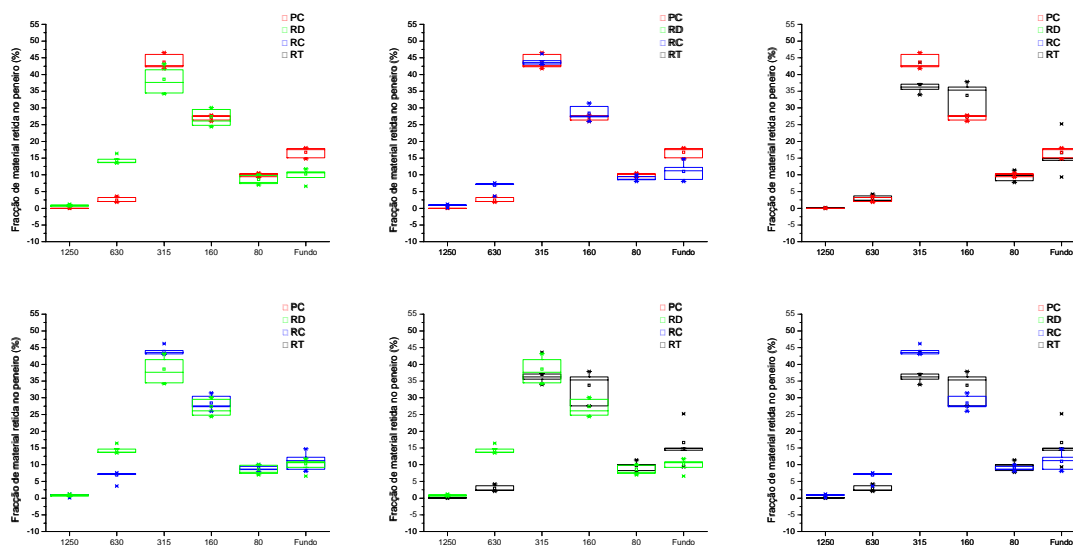


Figura 55 – Comparação dos resultados obtidos de distribuição de partículas para duas argamassas.

Anexo II – Métodos de ensaio do laboratório weber

Neste anexo apresentam-se os métodos de ensaio do laboratório da saint-gobain weber Portugal, considerados relevantes para uma melhor percepção deste trabalho.

MÉTODO DE ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE **ME.LB.015**

1. PRINCÍPIO

Este método de ensaio tem como objectivo definir o método de quantificar a quantidade de água absorvida por difusão capilar por um provete de argamassa.

2. REFERÊNCIAS

EN 1015-18: Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - partie 18 : détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité des mortiers d'enduits durcis.

3. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTO

Três provetes de dimensões 40 x 40 x 160 mm

Balança para pesar com a precisão de 0,1g

Relógio temporizador

Recipiente de dimensões aproximadas 330 x 330 x 135 mm .

Rede plástica de altura aproximada 20 mm

Cuvete de dimensões aproximadas 180 x 240 mm

Esponja

Sulfato de Zinco

Suporte metálico

Parafina (ou silicone)

4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Amassar o produto de acordo com o método de ensaio ME.LB.004- Amassado de uma argamassa.

Aplicar o método de ensaio ME.LB.011- Preparação e conservação de provetes.

Aplicar o método de ensaio ME.LB.013- Determinação da resistência à flexão e compressão de uma argamassa e aproveitar três dos meios provetes resultantes.

Aproveitar as metades obtidas, resultantes do ensaio de flexão, revestir com parafina as suas 4 faces laterais e secar até massa constante.

O ensaio efectua-se num recipiente nas condições de temperatura e humidade relativa de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $90\% \pm 5\%$.

Para criar as condições referidas, 24 horas antes do ensaio deve ser introduzido no recipiente uma solução saturada de sulfato de zinco (1500 g/l de água) com uma altura aproximada de 1 cm. Coloca-se a esponja dentro do cuvette e acrescenta-se água destilada até aproximadamente 5 mm acima da esponja. Seguidamente introduz-se a cuvette em cima do suporte metálico que se encontra no recipiente e isola-se o conjunto.

Pesar (mseco), identificar os provetes e colocá-los sobre a esponja, com a face de ruptura do ensaio de flexão em contacto para a água. Deve-se deixar um espaço mínimo de 3 cm entre os provetes. Iniciar a contagem de tempo. Ao fim do tempo especificado na norma EN 998-1 retirar os provetes da câmara, remover a água de superfície, com um pano humedecido, e pesar (msat).

5. RESULTADO

Calcular o coeficiente de absorção de água por capilaridade (C) a partir da seguinte fórmula:

$$C = \frac{m_{sat} - m_{seco}}{A \sqrt{t}} \cdot 10^3 \quad \text{kg/(m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$$

Onde:

m_{sat} : massa dos provetes após absorção de água por capilaridade (g);

m_{seco} : massa dos provetes secos (g);

A: área dos provetes (no caso dos prismáticos assumir 1600 mm²);

t: tempo em hora (h).

O resultado final é dado pela média dos valores obtidos para os três provetes em estudo.

O valor de C obtido deve ser arredondado a 0.1 kg/(m² · h^{0.5}).

Nota: Experimentalmente, também se observa que, para argamassas, o valor de C pode ser obtido directamente da diferença de massa entre a medição para os tempos 10' e 90' (neste caso, em g/dm² · min^{1/2}).

MÉTODO DE ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO PRODUTO ENDURECIDO

ME.LB.031

1. PRINCÍPIO

Este método de ensaio tem como objectivo definir o método de determinar a densidade de um provete de argamassa endurecida.

2. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTO

Dois provetes de dimensões 25 x 25 x 280 mm

Balança para pesar com a precisão de 0,1 g

3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Amassar o produto de acordo com o método de ensaio ME.LB.004- Amassado de uma argamassa.

Aplicar o método de ensaio ME.LB.011- Preparação e conservação de provetes.

Pesar os provetes após a desmoldagem, passados 7 dias e ao fim de 28 dias de secagem do produto.

4. RESULTADO

A densidade do produto endurecido é determinada aplicando a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

onde: ρ , é a densidade (g/cm³);

m, é a massa dos provetes (g)

v, é o volume dos provetes (cm³)

O resultado final é dado pela média dos valores obtidos para os dois provetes em estudo.

MÉTODO DE ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO E COMPRESSÃO DE UMA ARGAMASSA

ME.LB.013

1. PRINCÍPIO

Este ensaio tem como finalidade determinar as resistências mecânicas à aplicação de forças de flexão e compressão em provetes de uma argamassa.

2. REFERÊNCIAS

EN 1015-11: Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie – Determination de la résistance à la flexion et à la compression du mortier durci.

3. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTO

3 provetes de dimensões 4 x 4 x 16 cm

Prensas automáticas de flexão e compressão, semelhantes às descritas na norma anteriormente referida.

4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Aplicar os métodos de ensaio ME.LB.004- Amassado de uma argamassa e ME.LB.011-Preparação e conservação de provetes.

Após 28 dias desde a data de preparação dos provetes, retirá-los da câmara climatizada e iniciar os ensaios, pela ordem seguidamente mencionada.

Resistência à Flexão

Colocar o provete na máquina de flexão com uma das faces laterais de moldagem sobre os cilindros de apoio e o seu eixo longitudinal perpendicular aos apoios e centrado em relação a estes.

Dar início ao ensaio de flexão e aumentar a carga uniformemente à velocidade de 115 kPa/s.

Anotar a carga máxima (F_f) suportada pelo provete até à sua ruptura.

Resistência à Compressão

Aproveitar as metades dos provetes resultantes do ensaio anterior.

Centrar lateral e longitudinalmente cada meio-provete em relação aos pratos da máquina de compressão. Tal como no ensaio anterior deverá ser uma das faces laterais de moldagem que ficará em contacto com os pratos da máquina de compressão.

Dar início ao ensaio de Compressão e aumentar a carga uniformemente à velocidade de 245 kPa/s.

Anotar a carga máxima (F_c) suportada pelo provete até à sua ruptura.

5. RESULTADO

Resistência à Flexão

A resistência à flexão (R_f) em MPa (N/mm²) é dada pela seguinte fórmula:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b \cdot d^2}$$

Onde:

F_f é a carga máxima suportada pelo provete (N)
 l é a distância entre os cilindros de apoio (mm)
 $b; d$ são as dimensões interiores do provete (mm)

Resistência à compressão

A resistência à compressão (R_c) em MPa (N/mm^2) é dada pela seguinte fórmula:

$$R_c = \frac{F_c}{S}$$

onde

F_c é a carga máxima suportada pelo provete (N)
 S é a área da superfície sobre a qual se aplica a carga (mm^2) ≈ 1600

Para os dois casos considerar cada valor individual com aproximação a $0,05N/mm^2$.

Em ambos os casos, o valor final é dado pela média dos resultados obtidos para os três provetes em estudo e com aproximação a $0.1N/mm^2$.

Nota:

i. Estes cálculos poderão ser efectuados directamente pela máquina utilizada.

**MÉTODO DE ENSAIO: DETERMINAÇÃO DA PERDA DA MASSA
POR CALCINAÇÃO A 500°C**
ME.LB.003

1. PRINCÍPIO

Este método de ensaio consiste em determinar a quantidade de massa perdida por acção do calor, a 500°C.

2. REFERÊNCIAS

UNE 83-207-85: Aditivos para hormigones, morteros e pastas.
Determinación de la pérdida por calcination a 1050±25°C.
Cahiers du CSTB (2669-4). Modalités d'essais- A1.2: Taux de cendres.
Guía Técnica UEAtc para la evaluación de colas para revestimientos
cerámicos; Diciembre 1990

3. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTO

Amostra de produto em pó
Balança com resolução de 0,0001 g
Espátula pequena
Exsicador
Mufla de temperatura regulável até 1000 ° C
Cadinhos de porcelana

4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Confirmar o estado de limpeza dos cadinhos.
Identificar qual a amostra que conterà cada cadinho.
Pesar o cadinho bem seco (M1) e registar o valor.
Introduzir no cadinho cerca de 3 g de amostra a ensaiar, pesar o conjunto (M2) e registar o valor obtido.
Colocar o cadinho na estufa regulada a 500° C durante no mínimo 4 horas.
Após este tempo, os cadinhos devem ser retirados da mufla e colocados durante cerca de 30 min ambiente no exsicador, até estabilizarem a sua temperatura à temperatura ambiente.
Uma vez a amostra fria pesa-se o conjunto (M3).

5. RESULTADO

O resultado expressa-se em percentagem de massa perdida e calcula-se através da seguinte formula:

$$\%MassaPerdida = 100 - \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \cdot 100$$

Onde: M₁ é o peso do cadinho (g)

M₂ é o peso do cadinho contendo a amostra (g)

M₃ é o peso do cadinho com a amostra submetida a 500 °C (g)

OBSERVAÇÃO

O procedimento para a limpeza dos cadinhos deverá ser o seguinte:

Remover o produto dos cadinhos.

Com o auxílio do ar comprimido soprar todos os cadinhos, de modo a eliminar qualquer vestígio de pó.

Colocar os cadinhos na mufla regulada a 1000°C durante pelo menos uma hora.

Retirar os cadinhos da mufla e colocá-los em local seco e limpo.

MÉTODO DE ENSAIO: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE UM PÓ ME.LB.006

1. PRINCÍPIO

Este método de ensaio descreve a forma de classificar as partículas que compõem um produto segundo as suas dimensões, por utilização de peneiros com aberturas de malha conhecidas.

2. REFERÊNCIAS

NP EN 196-6: Métodos de ensaio dos cimentos. Determinação da finura.

UNE 83-805-94: Morteros. Métodos de ensaio. Determinación de la distribución del tamaño de partículas.

3. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTO

Amostra de produto em pó.

Sistema de peneiração automática

Balança com precisão de 0,1g

Jogo de peneiros de 200 mm de diâmetro nominal e 50 mm de profundidade com as seguintes aberturas de malha (mm).

0.080 - 0.160 - 0.315 - 0.630 - 1.250 - 1.600 - 2.000 - 2.500

4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Pesar 100 g da amostra a analisar e colocá-la no módulo superior do jogo de peneiros seleccionado.

Peneirar durante 5 min automática ou manualmente .

Colocar o conjunto dos peneiros na balança.

Tarar a balança.

Remover todo o produto que se encontra no peneiro superior.

Colocar o peneiro no topo do conjunto e registar o valor que corresponde à quantidade de produto retido no peneiro em questão.

Repetir o procedimento para todos os peneiros.

No caso de pastas, pesar 50g de material e fazer passar água por entre os vários peneiros de forma a reter apenas a componente de grãos; no final secar e seguir o método de indicação de resultado indicado no ponto 5.

Anexo III – Método de reconhecimento de argamassas

Argamassas-cola

Aplicável a *w.fix plus*, *w.col record*, *w.col flex* e *w.col classic*.

Recolha e limpeza das amostras

- 1) Recolher entre 100 a 200g de material.
- 2) Registrar o aspecto geral do material, como cor, coesão, e outras características que se considerem relevantes.
- 3) Limpar a argamassa de qualquer vestígio de outras argamassas, ou contaminações.

Ensaio de calcinação

• *Calcinação a 500°C*

- 1) Secar o material até obter massa constante.
- 2) Realizar o ensaio, segundo ME.LB.003, a 100-200g de material, em, pelo menos, três cadinhos.
- 3) Calcular a perda de massa por calcinação a 500°C.

• *Calcinação a 900°C*

- 4) Após pesagem do material resultante da calcinação a 500°C, colocar o mesmo na mufla a 900°C, durante 4 horas.
- 5) Registrar a massa.
- 6) Calcular a perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C.

$$m_s = m_{cad+amostra} - m_{cad}$$

$$m_{500^{\circ}C} = m_{cad+amostra,500^{\circ}C} - m_{cad}$$

$$m_{900^{\circ}C} = m_{cad+amostra,900^{\circ}C} - m_{cad}$$

$$Perda\ de\ massa\ por\ calcinação\ a\ 500^{\circ}C = \frac{m_s - m_{500^{\circ}C}}{m_s} \times 100$$

$$Perda\ de\ massa\ por\ calcinação,\ entre\ 500^{\circ}C\ e\ 900^{\circ}C = \frac{m_{500^{\circ}C} - m_{900^{\circ}C}}{m_{500^{\circ}C}} \times 100$$

Análise granulométrica

- 1) Recolher o material da calcinação.
- 2) Desfazer os agregados num almofariz.
- 3) Efectuar a análise granulométrica a 100g do pó obtido, segundo ME.LB.006.
- 4) Calcular a fracção de material retida nos peneiros.
- 5) Recolher o material retido em cada peneiro para comparação com amostras catalogadas.

Comparar os resultados obtidos com base de dados.

		w.fix plus		w.col record		w.col flex		w.col classic	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		6,26	9,33	8,83	10,82	6,46	11,48	1,79	4,41
Perda de massa por calcinação entre 500°C e 900°C (%)		22,21	23,52	2,14	6,30	6,62	8,97	3,15	4,67
Fracção de material retida (%)	1,25mm	-	-	-	-	0,0	0,1	-	-
	630µm	-	-	-	-	4,9	7,2	4,2	4,5
	315µm	0,5	0,6	1,4	1,8	30,9	41,5	47,3	50,1
	160µm	8,5	11,6	29,9	36,3	24,5	33,1	27,1	29,3
	80µm	19,8	20,6	21,5	25,0	9,1	11,9	5,8	8,0
	Fundo	67,2	71,2	40,1	43,5	12,5	27,4	11,1	14,0

Argamassas de revestimento

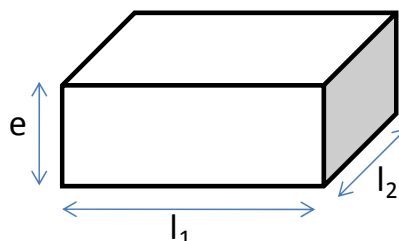
Aplicável a *w.pral.classic*, *w.rev.dur*, *w.rev.classic* e *w.rev.tradition*.

Recolha e limpeza das amostras

- 1) Registrar o aspecto geral do material, como cor, coesão, e outras características que se considerem relevantes.
- 2) Limpar a argamassa de qualquer vestígio de outras argamassas, ou contaminações.
- 3) Se a recolha do material for em placas: cortar em paralelepípedos regulares (faces paralelas e ângulos de 90°). A quantidade de material recolhida deve ser suficiente para obter três paralelepípedos de área de base de 4x4cm e espessura equivalente à aplicada em obra, e três provetes cúbicos de 1cm³.

Se a recolha for efectuada a partir de ensaios de resistência à tracção uniaxial: separar o material do disco por meio de corte, tentando maximizar a espessura da amostra.

- 4) Rebarbar os provetes de modo a obterem-se paralelepípedos regulares, e garantir que uma das bases se encontra regularizada com lixa (evitar o efeito do tipo de acabamento no ensaio de absorção de água por capilaridade).
- 5) Registar as dimensões dos provetes (l2x11xe) com craveira.
- 6) Colocar os provetes em estufa a 70°C, até obter massa constante.



Determinação de massa volúmica aparente

- 1) Registar a massa dos provetes cúbicos.
- 2) Calcular a massa volúmica:

$$M_{v,g} (g / cm^3) = \frac{m_s}{V_g}$$

m_s - massa do provete seco (g)

V_g - volume do provete determinado geometricamente, com craveira (cm³)

Determinação da porosidade aparente

Utilizar provetes do ensaio de massa volúmica aparente.

- 1) Colocar os provetes na câmara, sobre pressão de 80cm coluna água;
- 2) Após 1 semana, retirar os provetes.
- 3) Determinar a massa dos provetes e efectuar pesagem hidrostática.
- 4) Calcular porosidade aparente:

$$P_a (\%) = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_{ARQ}} \times 10^3$$

m_{sat} - massa dos provetes após 1 semana dentro da camara, sobre pressão

m_{ARQ} - massa equivalente da pesagem hidrostática

Ensaio de absorção de água por capilaridade:

Utilizar provetes paralelepípedos de área de base de 4x4cm.

- 1) Registar a massa dos provetes;

-
- 2) Colocá-los na câmara de capilaridade (segundo ME.LB.015), com a base regularizada em contacto com a água.
 - 3) Registrar a massa decorridos 30 minutos, m_{30} .

$$Abs.capilaridade,30\min(g / dm^2) = \frac{m_{30} - m_s}{A}$$

m_{30} - massa do provete, após 30 minutos de ensaio

m_s - massa do provete seco (g)

A - Área do provete (dm^2)

Ensaio de resistência mecânica

Utilizar provetes paralelepípedos resultantes do ensaio de capilaridade

- 1) Secar os provetes a 70°C.
- 2) Realizar o ensaio de resistência à compressão, segundo ME.LB.13. Os provetes deverão estar na vertical.
- 3) Calcular a tensão de ruptura.

$$\tau(MPa) = \frac{F}{A_c}$$

$F(kN)$ - força aplicada de ruptura

A_c - area de contacto do provete com os pratos do equipamento

Ensaio de calcinação

- *Calcinação a 500°C*

- 1) Utilizar o material do ensaio de resistência à compressão e do processo de corte inicial das placas, após secagem até massa constante.
- 2) Realizar o ensaio, segundo ME.LB.003, a 100-200g de material, em pelo menos três cadinhos.
- 3) Calcular a perda de massa por calcinação a 500°C.

- *Calcinação a 900°C*

- 4) Após pesagem do material resultante da calcinação a 500°C, colocar o mesmo na mufla a 900°C, durante 4 horas.
- 5) Registrar a massa.

6) Calcular a perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C.

$$m_s = m_{cad+amostra} - m_{cad}$$

$$m_{500^{\circ}C} = m_{cad+amostra,500^{\circ}C} - m_{cad}$$

$$m_{900^{\circ}C} = m_{cad+amostra,900^{\circ}C} - m_{cad}$$

$$Perda\ de\ massa\ por\ calcinação\ a\ 500^{\circ}C = \frac{m_s - m_{500^{\circ}C}}{m_s} \times 100$$

$$Perda\ de\ massa\ por\ calcinação,\ entre\ 500^{\circ}C\ e\ 900^{\circ}C = \frac{m_{500^{\circ}C} - m_{900^{\circ}C}}{m_{500^{\circ}C}} \times 100$$

Análise granulométrica

- 1) Recolher o material da calcinação.
- 2) Desfazer os agregados num almofariz.
- 3) Efectuar a análise granulométrica a 100g do pó obtido, segundo ME.LB.006.
- 4) Calcular a fracção de material retida nos peneiros.
- 5) Recolher o material retido em cada peneiro para comparação com amostras catalogadas.

Comparar os resultados obtidos com base de dados.

		PC		RD		RC		RT	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Massa volúmica aparente (g/cm ³)		1,326	1,467	1,538	1,633	1,422	1,541	1,150	1,540
Porosidade aberta (%)		30,93	46,33	20,61	25,45	25,69	33,64	38,35	50,77
Absorção de água por capilaridade, aos 30 min (g/dm ²)		0,35	8,25	3,72	12,07	18,89	39,44	8,09	26,68
Tensão de ruptura (MPa)		2,22	5,94	2,66	6,5	1,17	3,75	0,71	2,79
Perda de massa por calcinação a 500°C (%)		2,34	3,50	2,05	2,94	1,51	2,60	1,95	3,21
Perda de massa por calcinação, entre 500°C e 900°C (%)		17,49	19,38	10,68	13,20	11,26	14,17	17,34	18,86
Fracção de material retida (%)	1,25mm	0,0	0,1	0,6	1,2	0,8	1,2	0,0	0,2
	630µm	1,7	3,6	13,5	16,4	6,8	7,6	2,0	4,2
	315µm	41,7	46,6	34,2	43,2	43,0	44,1	34,0	43,6
	160µm	26,0	32,6	24,4	30,1	27,2	31,5	27,6	37,9
	80µm	8,9	10,6	6,9	10,1	8,0	10,0	7,7	11,4
	Fundo	12,5	18,1	6,5	11,8	8,0	12,7	9,4	25,3